



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STAVEBNÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

**ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ**

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

**VYHODNOCENÍ PŘÍNOSU REKONSTRUKCE  
NA ÚPRAVNĚ VODY**

EVALUATION OF THE BENEFITS OF RECONSTRUCTION AT THE WATER TREATMENT PLANT

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Markéta Zikudová**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**doc. Ing. TOMÁŠ KUČERA, Ph.D.**

**BRNO 2021**



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	B3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav vodního hospodářství obcí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Markéta Zikudová
<b>Název</b>	Vyhodnocení přínosu rekonstrukce na úpravně vody
<b>Vedoucí práce</b>	doc. Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.
<b>Datum zadání</b>	30. 11. 2020
<b>Datum odevzdání</b>	28. 5. 2021

V Brně dne 30. 11. 2020

---

doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

[1] ALEGRE, Helena. a Maria do Ce'u. ALMEIDA. Strategic asset management of water supply and wastewater infrastructure: invited papers from the IWA Leading Edge Conference on Strategic Asset Management (LESAM), Lisbon, October 2007. New york: IWA Pub., 2009. ISBN 9781843391869.

[2] RAHMAN, Sarker a Tarek ZAYED. Condition Assessment of Water Treatment Plant Components. Journal of Performance of Constructed Facilities [online]. 2009, 23(4), 276-287 [cit. 2017-12-07]. DOI: 10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000011. ISSN 0887-3828.

[3] Water quality and treatment: a handbook of community water supplies. 4th ed. New York: McGraw-Hill, c1990. ISBN 00-700-1540-6.

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Předmětem bakalářské práce bude vyhodnocení zkušebního provozu úpravní vody, která je krátce po rekonstrukci, stejně tak i vyhodnocení technického stavu této úpravní vody s cílem postihnout rozdíl ve stavu před a po rekonstrukci.

## STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).

2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

---

doc. Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

## **ABSTRAKT**

Předmětem této bakalářské práce je porovnání a vyhodnocení stavu úpravny vody Nudvojovice před rekonstrukcí a po ní. Bakalářská práce popisuje základní pojmy a obecné principy úpravy surové vody na vodu pitnou. Konkrétně jsou v práci popsány metody jímání surové vody, technologie užívané na úpravnách, ukazatelé jakosti vody a typy úpraven vody. V práci je dále podrobně popsána úprava vody Nudvojovice před rekonstrukcí, která probíhala v roce 2018 a po ní. Práce je především zaměřena na jímání surové vody, změny v technologii úpravy a na jakost surové i upravované vody.

V práci jsou uvedeny i jiná než realizovaná řešení úpravy pitné vody a následně je provedeno srovnání stavů původní a rekonstruované úpravny vody z různých hledisek.

## **ABSTRACT**

The subject of this bachelor thesis is a comparison and evaluation of the condition of the Nudvojovice water treatment plant before and after the reconstruction. The bachelor thesis describes the basic concepts and general principles of treatment of raw water for drinking water. Specifically, the thesis describes the methods of raw water collection, technologies used in treatment plants, water quality indicators and types of water treatment plants. The thesis also describes in detail the Nudvojovice water treatment plant before reconstruction, which took place in 2018 and afterwards. The thesis is mainly focused on the collection of raw water, changes in treatment technology and the quality of raw and treated water.

The thesis also presents other than implemented solutions for drinking water treatment and then compares the status of the original and reconstructed water treatment plant in various respects.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Úprava vody, úpravna vody Nudvojovice, technologie úpravy vody, jakost vody, pitná voda

## **KEYWORDS**

Drinking water treatment, Nudvojovice drinking water treatment plant, water-treatment technologies, water quality, drinking water

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

Markéta Zikudová *Vyhodnocení přínosu rekonstrukce na úpravně vody*. Brno, 2021. 61 s., 2 s. příl.  
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí.  
Vedoucí práce doc. Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Ráda bych poděkovala panu Ing. Tomáši Kučerovi Ph.D. za odborné vedení a pomoc při pracování bakalářské práce. Taktéž bych chtěla poděkovat panu Bc. Ondřeji Šimůnkovi za provedení po objektu úpravny vody a následné konzultace při kterých jsem se dozvěděla cenné informace nepostradatelné pro dokončení celé práce. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat Vodohospodářskému sdružení Turnov za poskytnutí všech potřebných podkladů, bez kterých by tato práce nemohla vzniknout.

## OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>ÚPRAVA VODY</b>	<b>10</b>
2.1	DŮVODY ÚPRAVY VODY	10
2.2	PROCESY PROBÍHAJÍCÍ NA ÚPRAVNĚ VODY	10
2.3	TYPY ÚPRAVEN VODY	10
2.4	TECHNOLOGIE ÚPRAVEN	12
2.4.1	<i>Mechanické předčištění</i>	12
2.4.2	<i>Čiření</i>	12
2.4.3	<i>Aerace</i>	13
2.4.4	<i>Sedimentace</i>	14
2.4.5	<i>Flotace</i>	14
2.4.6	<i>Odželezování, odmanganování</i>	14
2.4.7	<i>Filtrace</i>	15
2.4.8	<i>Dezinfekce</i>	15
2.5	JÍMÁNÍ VODY	17
2.5.1	<i>Povrchové zdroje vody pro jímání</i>	17
2.5.2	<i>Podzemní zdroje vody pro jímání</i>	17
2.6	JAKOST VODY	19
2.6.1	<i>Surová voda</i>	19
2.6.2	<i>Pitná voda</i>	19
<b>3</b>	<b>NUDVOJOVICE</b>	<b>23</b>
3.1	ÚPRAVNA VODY NUDVOJOVICE	24
<b>4</b>	<b>ÚPRAVNA VODY NUDVOJOVICE PŘED REKONSTRUKCÍ</b>	<b>25</b>
4.1	JÍMÁNÍ	25
4.1.1	<i>Doprava</i>	26
4.2	JAKOST VODY	26
4.2.1	<i>Surová voda</i>	26
4.2.2	<i>Pitná voda</i>	28
4.3	ÚPRAVA VODY	29
4.3.1	<i>Přímý přívod vody do AN</i>	29
4.3.2	<i>Nepřímý přívod vody do AN (přes provzdušňovací věž)</i>	29
4.3.3	<i>Odtok</i>	30
4.4	BUDOVA ÚPRAVNY VODY	31
4.5	PROBLÉMY A DŮVODY REKONSTRUKCE	31
<b>5</b>	<b>ÚPRAVNA VODY NUDVOJOVICE PO REKONSTRUKCI</b>	<b>32</b>
5.1	JÍMÁNÍ	32
5.1.1	<i>ČS a vrty</i>	32
5.1.2	<i>Ochranné pásmo</i>	34
5.1.3	<i>Trubní a kabelové propoje</i>	35
5.1.4	<i>Doprava vody</i>	35
5.2	JAKOST	36
5.2.1	<i>Surová voda</i>	36
5.2.2	<i>Pitná voda</i>	36
5.3	ÚPRAVA VODY	37
5.3.1	<i>Přímý přívod vody do AN</i>	38
5.3.2	<i>Nepřímý přívod vody do AN (přes provzdušňovací věž)</i>	39
5.3.3	<i>Odtok</i>	40



---

5.4	BUDOVA ÚPRAVNÝ.....	41
5.5	NAVRŽENÉ ZPŮSOBY ÚPRAVY VODY A POROVNÁNÍ S DALŠÍMI ZPŮSOBY .....	42
5.5.1	<i>Možnosti odstranění chlorovaných uhlovodíků.....</i>	42
5.5.2	<i>Možnosti odstranění vyluhování vápníku.....</i>	42
<b>6</b>	<b>POROVNÁNÍ PŘED A PO REKONSTRUKCI .....</b>	<b>43</b>
6.1	HLAVNÍ PARAMETRY.....	43
6.2	JÍMACÍ OBJEKTY .....	44
6.3	JAKOST VODY.....	44
6.3.1	<i>Železo .....</i>	44
6.3.2	<i>Vápník, Hořčík a tvrdost vody.....</i>	45
6.3.3	<i>Hodnoty pH .....</i>	47
6.3.4	<i>Chlorované uhlovodíky.....</i>	48
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>50</b>
	<b>CITOVANÁ LITERATURA.....</b>	<b>52</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>54</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>55</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....</b>	<b>56</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>57</b>
	<b>SUMMARY .....</b>	<b>58</b>

## 1 ÚVOD

Přírodní pitná voda jakožto jedna z nejdůležitějších surovin pro člověka a je na naší planetě čím dál více vzácnější. Z toho důvodu je potřeba ji stále více získávat a upravovat z vody různě znečištěné.

V historii byla za pitnou vodu považována jakákoliv pramenitá voda, bohužel se ale velmi často stávala zdrojem různých nemocí. Pitná voda je nepostradatelnou součástí lidských životů a bez jejího pravidelného přísunu by lidstvo nemohlo existovat. Kromě bezproblémového přístupu k pitné vodě je nutné pravidelně kontrolovat její jakost a případně ji zlepšovat pomocí ověřených vodárenských technologií.

Pitná voda se dá získat mnoha způsoby. V České republice se voda nejčastěji jímá z podzemních zdrojů. Tato voda bývá zpravidla kvalitnější než voda jímaná z řek či nádrží, u nich je nutné odstranit plovoucí nečistoty, ale i chemikálie a nežádoucí látky náročnějšími úpravami. Znečištění povrchových vod se odvíjí od mnoha faktorů, jako je například průmysl v dané oblasti, čistota vypouštěných odpadních vod do toku, chov dobytka a další. U vod podzemních to je průmysl v oblasti, ale i podloží a také podzemní proudy, část znečištění je totiž přirozeně zachycena při průchodu půdou do podzemí. Dalším podstatným faktorem mohou být ekologické havárie v dané oblasti. Kvalita pitné vody musí vyhovět požadavkům dle vyhlášky 252/2004 Sb.

Na Turnovsku se nachází pouze podzemní zdroje vody, celkem je v Turnově a jeho blízkém okolí pět oblastí pro jímání podzemní vody. Dvě oblasti jsou jímány studny a zbylé tři jsou podzemní gravitační zdroje. Jejich kvalita je velmi různorodá. Ze studní je voda spíše tvrdá, což je způsobeno vápencovým podložím a z ostatních zdrojů je voda měkká. Celkově je voda jímaná ze studní méně kvalitní než voda z ostatních zdrojů v oblasti. Příkladem je podzemní gravitační zdroj Šlejferna, kde se provádí pouze dezinfekce. Jedná se o nejstarší stále využívanou štolu s jímacími zářezy v Turnově. Celkově ročně dodají zdroje do sítě v okolí Turnova přes jeden milion m<sup>3</sup> vody. [21]

V Turnově se nacházejí dvě úpravně vody – Dolánky a Nudvojovice. Čerpací stanice s úpravnou vody Dolánky upravují vodu ze studní v areálu úpravně. Úpravna vody Nudvojovice se zabývá úpravou vody ze studní v blízkosti objektu. Tato bakalářská práce se zaměřuje na úpravnu vody Nudvojovice, která prošla v roce 2018 celkovou rekonstrukcí. Důvodem rekonstrukce byla nutnost výměny technologického vybavení, které bylo na konci své životnosti a také zlepšení kvality pitné vody, a to především zvýšením efektivity odstranění chlorovaných uhlovodíků z jímané vody. V neposlední řadě bylo provedení sanace stávajících vrtů, a především upravení nadzemních částí jímacích objektů – vrtů, tak aby bylo dosaženo maximální ochrany před povodněmi. Dále došlo k zvýšení kapacity úpravně vody s ohledem na vydatnost vrtů a odstavení z provozu dvou nejméně vyhovujících vrtů.

Cílem této práce je popsat a vyhodnotit stav úpravně vody Nudvojovice před rekonstrukcí a po ní. Práce se zaměřuje především na popsání jednotlivých stavů jímacích objektů i samotné úpravně i její technologie a v neposlední řadě se zaměřuje i na jakost surové a pitné vody. Vybranými ukazateli, na které se práce zaměřuje jsou: železo, vápník, hořčík, tvrdost vody, pH a koncentrace chlorovaných uhlovodíků.

## 2 ÚPRAVA VODY

### 2.1 Důvody úpravy vody

Voda se upravuje v případech kdy

- nevyhovuje zdroj požadavkům kladeným na vodu pitnou a užitkovou.
- vyhovuje sice jako pitná, ale nikoliv jako průmyslová, přestože je určena i pro průmysl; v takovém případě je třeba ekonomicky zhodnotit, zda se má upravovat všechna voda nebo zda si dotyčný průmyslový sektor tu část vody, kterou potřebuje upravit sám. Nejčastěji je třeba upravovat tvrdost vody.
- jestliže splňuje požadavky kladené na vody pitné a průmyslové, ale svou povahou (např. agresivitou) by ve vodárenských zařízeních a rozvodu mohla působit vážné potíže technického rázu. [1]

### 2.2 Procesy probíhající na úpravně vody

Na úpravnách vody probíhají různé procesy a dělí se do čtyř kategorií – mechanické, chemické, biologické a mikrobiologické.

Při **biologických a mikrobiologických** postupech dochází k likvidaci organického a anorganického znečištění působením mikroorganismů rostlinného i živočišného původu. Využívají pomalé biologické filtry, skrápěná tělesa a provzdušňovací nádrže. [3]

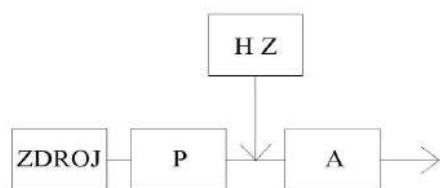
Základní **chemické** postupy při úpravě vody jsou okysličování (oxidace), srážení (koagulace) a chemické vázání (syntéza). Mezi chemické postupy se také zařazuje dezinfekce vody chemickými prostředky. Chemické postupy se využívají především za účelem snadnější následné úpravy. [3]

**Mechanickými** postupy se z vody odstraňují rozptýlené tuhé a plynné látky. Využívá se přitom dá procesu sedimentace, prosté filtrace, provzdušnění a mechanického předčištění. [3]

### 2.3 Typy úpraven vody

Úpravny vody mohou být bez separačního stupně, jednostupňové, dvoustupňové nebo vícestupňové.

**Úprava bez separačního stupně** lze využít pouze u vody ze zdrojů, které jsou minimálně přírodně negativně ovlivněné či minimálně znečištěné. Především se takto upravuje voda podzemní s minimálním obsahem organických látek, dvojmocného železa a manganu. Úprava probíhá mechanickým provzdušněním vody (aerací). Aerace se využívá z důvodu, že z vody odstraní nežádoucí plyny a pachy. Konkrétně se jedná o odstranění volného oxidu uhličitého, sirovodíku, metanu atd. Provzdušněním se dá docílit i oxidace bezkyslíkaté vody, která má negativní vliv na organoleptické vlastnosti vody. [2]



P – provzdušnění vody, A – akumulace vody, HZ – hygienické zabezpečení

Obr. 2.1 Blokové schéma jednostupňové úpravy bez separačního stupně [2]

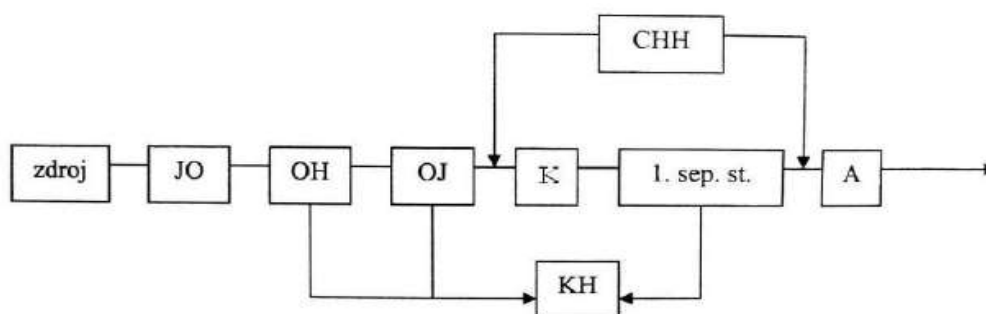
**Jednostupňové úpravy** využívají separace, což je výsledné odstranění nežádoucích látek upravované vody. Tyto úpravy provádí separaci na jednom separačním zařízení vloženém do technologické linky úpravy vody.

Při upravování pitné vody se využívá filtrace

- pomalá biologická filtrace
- mechanická prostá filtrace s filtrovanou vodou bez aplikace koagulantu
- koagulační filtrace s aplikací koagulantu

U takové úpravy je potřeba aplikovat určitý druh předúpravy a doupravy vody, ten závisí také na původu vody.

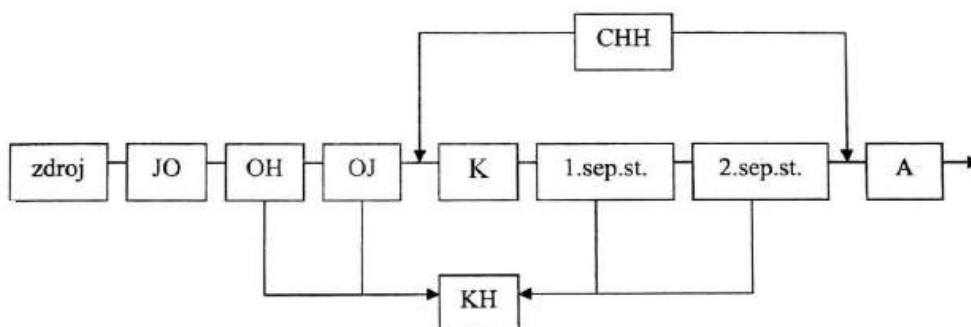
Podzemní voda má většinou jako předúpravu instalovanou mechanickou aeraci. Případně i dávkování chemikálií pro oxidaci dvojmocného železa a manganu s následnou flokulací nebo alkalizaci za účelem snížení pH. Jako douprava se dá použít zušlechtění vody a je nutné vodu desinfikovat před její akumulací. [2]



JO – jímací objekt, OH – odlučovače hrubé, OJ – odlučovače jemné, K – koagulace, flokulace, A – akumulace, CH H – chemické hospodářství, KH – kalové hospodářství

Obr. 2.2 Blokové schéma úpravy vody s jednostupňovou separací [2]

Vyšší koncentrace suspendovaných koloidních látek je nutné odstraňovat na **dvou stupních separace**. Prvním stupněm mohou být: mikrofiltry, filtry, sedimentační nádrže, čirčiče s vločkovým mrakem nebo flotace vody. Druhým stupněm u pitné vody je zpravidla filtrace. Předúprava i douprava je stejná jako u jednostupňové úpravy vody. [2]

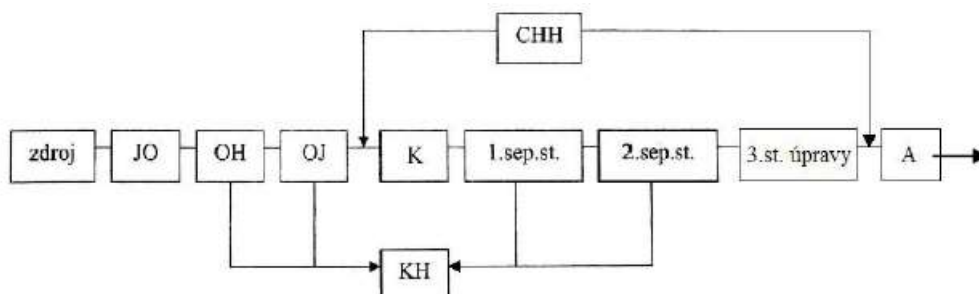


JO – jímací objekt, OH – odlučovače hrubé, OJ – odlučovače jemné, K – koagulace, flokulace, A – akumulace, CH H – chemické hospodářství, KH – kalové hospodářství

Obr. 2.3 Blokové schéma úpravy vody s dvoustupňovou separací [2]

**Vícestupňová úprava** vody se využívá, když jsou kladeny vysoké nároky na kvalitu upravené vody nebo je voda značně znečištěna.

Třetím separačním stupněm může být například pomalá biologická filtrace nebo filtrace s náplní granulovaného aktivního uhlí. Pokud není žádoucí využívat třetí separační stupeň, tak může být voda zušlechtěna ozonizací s následným provzdušněním. [2]



JO – jímací objekt, OH – odlučovače hrubé, OJ – odlučovače jemné, K – koagulace, flokulace, A – akumulace, CH H – chemické hospodářství, KH – kalové hospodářství, 3. stupeň úpravy – (3. stupeň separace, doúprava vody, zušlechtování vody)

Obr. 2.4 Blokové schéma úpravní vody s vícestupňovou úpravou [2]

## 2.4 Technologie úpraven

V této bakalářské práci se budu blíže zabývat technologiemi úpravy vody, které se nacházejí na úpravně vody v Nudvojovicích, které se věnuje další část práce.

### 2.4.1 Mechanické předčištění

Mechanického předčištění se využívá především u povrchových zdrojů a také tam, kde nejsou velké požadavky na jakost vody (například pro průmyslové vody). Předčištění zachycuje unášené látky ve vodách. Podle funkce se tento způsob úpravy vody dělí na odstraňování plovoucích látek pomocí česlí a sít a odstraňování hrubých suspendovaných látek pomocí lapáků písku, usazovacích nádrží, pískových filtrů a mikrofiltrů. [1]

### 2.4.2 Čiření

Čiření je pochod, při kterém se do vody přidávají chemikálie s čiřícími schopnostmi. Díky tomu vznikají vločky i ze suspendovaných a koloidních částic, které je možné odstranit následnou sedimentací, vločkovým mrakem nebo filtrací. Čiření zahrnuje chemické, hydraulické i fyzikálně-chemické procesy. [3]

Celý proces je zahájen nadávkováním koagulantu do vody a následným rychlým mícháním. Tím je zahájena první fáze čiření (perikinetická fáze). Jedná se o shlukování menších částic do větších celků. Druhá fáze (ortokinetická fáze) může nastat samovolně, případně může být podpořena pomalým mícháním. Při druhé fázi se menší částice nabalují na ty větší, což trvá od pár minut až po desítky minut. [1], [2]

Koagulanty mohou například být: síran železitý, chlorid železitý, síran hlinitý, hlinitan sodný, manganistan draselný atd. [3]

### 2.4.3 Aerace

Aerace (nebo také provzdušnění) je proces který probíhá na rozhraní mezi vodou a vzduchem při kterém dochází k výměně molekul plynu. Rozlišujeme absorpci (proces pohlcování plynu) a desorpci (proces vylučování plynu). Povrchové vody obsahují větší množství rozpuštěného kyslíku než vody podzemní a využívají kyslík především k rozkládání organických látek. Vody podzemní kyslík využívají pro oxidaci dvoumocného železa na trojmocné, takto vzniklý hydroxid železitý je nerozpustný a vylučuje se jako vločky. Obdobně funguje proces při srážení manganu. Plyny se z vody odstraňují z důvodu, že jejich přítomnost má negativní vliv na kvalitu vody a organoleptické vlastnosti.

Při provzdušňování se voda rozprašuje do jemných kapek a dostává se do styku se vzduchem. Tím jsou částečně nebo úplně odstraněny nežádoucí plyny jako  $\text{CO}_2$ , sirovodík, přebytečný volný chlór a bahenní plyn a také je zvýšena koncentrace přirozeného kyslíku. [7]

Provzdušňování způsobuje:

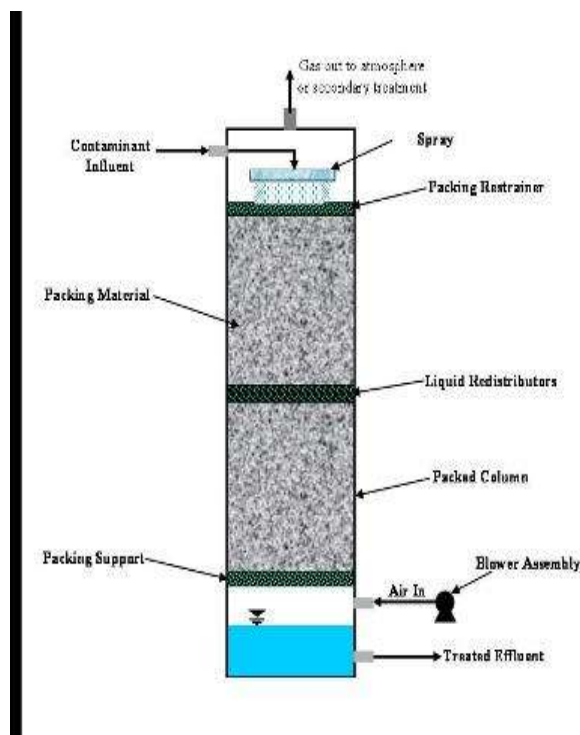
- Snižování pH (odvětráním volného  $\text{CO}_2$ )
- Převedení rozpustných látek, na látky nerozpustné a lépe odstranitelné
- Odstranění nevhodných plynů z vody
- Obohacení vody o kyslík

Dle funkce se dají aerátory dělit na:

- Gravitační
- Trysková
- Difuzorová

#### Gravitační provzdušňovače

Gravitačními provzdušňovači mohou být například přepady, kaskády, ventilační pánve, věže a rolety. Využívá se u nich potenciální energie pro míšení vody se vzduchem.



Obr. 2.5 Schéma provzdušňovací věže [17]



Obr. 2.6 Provzdušňovací věž [18]

Příkladem přepadu je jez a pokud má více stupňů, tak tvoří kaskádu. Tyto dva způsoby se snaží napodobit přirozené provzdušňování v přírodě. Jedná se o velmi jednoduché řešení, které nemá nutnost technologického řízení. Pro zvýšení účinnosti se navrhuje optimálně 5-6 stupňů kaskády o výšce přibližně 0,65 metru.

Dále se dají využít provzdušňovací věže, které jsou nejrozšířenější zařízení vertikálního typu. Materiál věže je buď z nerezové oceli nebo z plastu. Průtok věží je u vody shora dolů a u vzduchu zdola nahoru. V aktivní části věže je voda rozstříkována, tím se dostává do kontaktu s kyslíkem a je o něj obohacována. V horní části věže se nachází náplně. Ty mohou být například plastové či keramické. [2]

#### *Tryskové provzdušňovače*

Používají se k absorpci kyslíku a desorpci oxidu uhličitého. Fungují tak, že tvoří drobné kapky v tryskách upevněných na příváděcím potrubí nebo žlabu. Na dně provzdušňovací komory je voda shromažďována a odváděna do sběrné jímky nebo je rozstříkována na vrstvu zrnitých částic.

Nevýhodou těchto aerátorů je nutnost velké plochy a energie, z toho důvodu se navrhuje jen pro malé průtoky. Výhodou naopak je dlouhá doba styku kapky se vzduchem. [7]

#### *Difuzorové provzdušňovače*

Přestup plynu ze vzduchu do vody nastává třemi způsoby:

- Při vzniku bublin na výtoku z difuzoru
- Po dráze bublin
- Při rozptýlení bubliny na hladině vody

Při tomto způsobu je nejpodstatnější rozměr bublin, který závisí na velikosti výtokového otvoru. Rychlost přestupu vzduchu závisí na dalších činitelích (např. rozměr a tvar provzdušňovací nádrže, umístění difuzoru atd.)

Difuzorové provzdušňovače se používají především k odstranění oxidu uhličitého a pachů. [7]

### **2.4.4 Sedimentace**

Sedimentace je velmi významný proces oddělení tuhých látek, ať už přírodních suspendovaných, tak i látek vzniklých při koagulaci, od upravované vody. Sedimentace bývá také označována jako usazování a využívá se jako první separační stupeň. Při úpravě na pitnou vodu je nutné k sedimentaci navrhnout ještě další stupeň úpravy. Objekty čištění vody usazováním jsou stavebně jednoduché a v provozu nenáročné. [2], [3]

### **2.4.5 Flotace**

Flotace je proces, který odstraňuje suspendované látky, mikroorganismy i částice vzniklé při koagulaci. Princip je založen na působení pod tlakem rozpuštěného vzduchu na částice obsažené ve vodě. Tím je způsobeno, že se na odstraňované částice přichytí mikrobublinky vzduchu a částice stoupají k hladině, kde se dají snadno odstranit. [2]

### **2.4.6 Odželezování, odmanganování**

Železo a mangan mají ve vodě negativní vliv na chuťové vlastnosti a také způsobují poruchy na provozech vodovodů. Prokysličené železnaté vody s manganem vytvářejí negativní inkrustace v potrubí a tím zmenšují jeho průtočný profil. [7]

Způsoby odstranění železa a manganu [1]:

- Provzdušňováním
- Alkalizace vápnem
- Koagulace srážedly

Úprava se skládá ze dvou fází. V první fázi je cílem zvýšit pomocí oxidace mocenství železitých a manganatých sloučenin. Při vyšším mocenství se vytváří vločkovitá suspenze, která se dá odstranit separací. Druhá fáze odstraňuje vzniklé suspendované vločky jednostupňovou nebo i vícestupňovou separací.

Metody pro vylučování železa a manganu z vod oxidací [7]:

- Vzdušným kyslíkem
- Chlórem
- Manganistanem draselným
- Ozónem

#### **2.4.7 Filtrace**

Filtrace bývá jedním z posledních článků úpravy vody. Při filtraci se z vody odstraňují suspendované látky, přítomné buď v přirozené formě nebo takové, které se do vody dostaly při předchozí úpravě. Filtr zachycuje nečistoty vlivem více na sobě nezávislých účinků. Nejvýznamnější jsou scezovací, usazovací a čířící. [1]

#### **2.4.8 Dezinfekce**

Dezinfekce se rozlišuje na fyzikální, chemickou a na oligodynamické účinky kovů. Fyzikálními desinfekčními prostředky rozumíme odstraňování mikroorganismů pomocí tepla, světla, zvuku a elektřiny. K chemické úpravě nejčastěji používáme ozón a chlór. Podle druhu a počtu mikroorganismů se volí vhodný desinfekční prostředek. Před desinfekcí je nutné, aby byla voda naprosto čistá, proto se dezinfekce umísťuje až na samotný konec úpravy. Rozhodující vliv na účinnost dezinfekce má doba styku, promísení s vodou, druh odstraňovaného mikroorganismu, teplota a pH. [3]

Metody dezinfekce lze rozdělit do kategorií [5]:

- Látky silně oxidační a současně baktericidní,
- Látky s oligodynamickým účinkem,
- Fyzikálně chemický účinek.

##### *Chlorování*

Chlór je žlutozelený, zapáchající plyn, který je těžší než vzduch. Ve vodě je dobře rozpustný. Kromě dezinfekce vody se využívá i jako oxidační prostředek při odželezování a odmanganování.

Chlór je chemicky velmi reaktivní a tvoří některé oxidy, kyseliny a jiné sloučeniny. Konkrétně to jsou: oxid chlorný ( $\text{Cl}_2\text{O}$ ), oxid chloričitý ( $\text{ClO}_2$ ), kyselina chlorná ( $\text{HClO}$ ), chlorové vápno ( $3\text{CaClOCl} \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ ), chlornan hořečnatý ( $\text{Mg}(\text{ClO})_2$ ), chlornan vápenatý ( $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ ) a další. [7]

##### *Ozon*

Jedná se o namodralý, nestálý, zapáchající a toxický plyn se značkou  $\text{O}_3$ . Využívá se k oxidaci jako technologický prostředek a jako baktericidní desinfekční činidlo, které je účinné i na viry a spory. Kromě



desinfekčního účinku ozón také odstraňuje železo a mangan, prodlužuje životnost aktivního uhlí a oxiduje organické látky. [3],[7]

Výroba probíhá v ozonátorech, jejichž výkon závisí na vlhku, tlaku, teplotě a době prodlení v poli elektrického výboje. K výrobě je potřeba kyslík a elektrické napětí.

Pro směšování ozónu s vodou se používají

- Kontaktní nádrže s probubláváním ozónovaného vzduchu zdola nahoru
- Ejektory s přisáváním ozónového vzduchu
- Rotorové mísiče v uzavřeném směšovacím prostoru
- Hydraulické mísiče

Ozón účinkuje pouze v místě dávkování, a proto se požaduje doplňkové dávkování chlóru. [3]

### *UV lampy*

Ultrafialové záření (UV záření) představuje elektromagnetické záření v rozmezí 100 až 400 nm, tedy rozsah mezi X-paprsky a viditelnou částí spektra.

UV lampy lze klasifikovat podle tlaku uvnitř trubice na:

- monochromatické nízkotlaké UV lampy
- polychromatické střednětlaké UV lampy

Efekt UV záření spočívá ve fotochemickém poškození nukleových kyselin. Důsledkem poškození výše uvedených struktur buňky UV zářením je znemožnění množení bakterií, pokud nejsou opravnými pochody – enzymy, tyto poškozené struktury obnoveny.

Účinnost UV záření není nijak zvlášť ovlivněna teplotou, hodnotou pH, alkalitou a hodnotou TOC<sup>1</sup>. Naopak velmi ji ovlivňuje množství rozpuštěné či suspendované hmoty, které je potřeba před dezinfekcí UV zářením odstranit. Z toho důvodu se navrhuje dezinfekce až jako konečná fáze úpravy. Minerální látky, ale i další složky vody mají schopnost pohlcovat UV záření a tím i snižovat účinnost. Jedná se například o větší koncentrace železa, tvrdost vody, měď, huminové kyseliny, chrom, dusitany a dusičnany.

Největší vliv na účinnost UV záření má samotné nastavení daného zařízení. Jedná se o nastavení dávky UV záření, doby zdržení v kontaktoru, průtokové množství vody a také kvalita přitékané vody. [15]

Využití UV záření k desinfekci pitné vody může být plošně pro obce nebo i pro desinfekci vody v těžce přístupných místech jako jsou vysokohorské chaty, farmy ale i vlaky a lodě. Kromě pitné vody se využívají UV lampy i při úpravě vody odpadní, procesní ale také pro extrémně náročné druhy ryb, plavecké bazény a farmaceutický průmysl. Platnou legislativou, která se touto problematikou zabývá je Vyhláška č. 409/2005 Sb. Dle této legislativy je stanoveno, že při dodržení ozáření minimálně 400 J/m<sup>2</sup> (vlnová délka 254 nm) je redukce škodlivých mikroorganismů 99,99 %. [16]

---

<sup>1</sup> TOC – celkový organický uhlík

## 2.5 Jímání vody

V této bakalářské práci se zaměřím na jímání z podzemních zdrojů, protože na úpravně v Nudovicích se nachází tento způsob získávání surové vody.

Jímání se dá podle zdroje vody rozdělit na dvě kategorie – jímání z podzemních zdrojů a z povrchových. Pro obě kategorie platí, že místo jímání musí být dobře přístupné pro obsluhu a údržbu. [2]

### 2.5.1 Povrchové zdroje vody pro jímání

Povrchové zdroje se dále dělí na stojaté a tekoucí. Mezi tekoucí patří řeky a mezi stojaté patří například nádrže a jezera.

Povrchové vody mají větší chemickou rozmanitost než vody podzemní, obsahují více organických látek a rozpuštěného kyslíku. Obecně se dá říci, že povrchové vody se vyznačují horší kvalitou a jsou náročnější na úpravu než vody podzemní. Z těchto důvodů je nutné navrhovat vyšší stupně úpravy před použitím povrchových vod pro pitné účely.

Jímání vody z tekoucích vod se dělí na:

- jímání ve dně
- jímání nade dnem
- jímání břehové

Jímání vody ze stojatých vod se dělí na:

- jímání věžovým jímacím objektem
- jímání odběry nade dnem nádrže
- jímání plovoucími odběry [2]

### 2.5.2 Podzemní zdroje vody pro jímání

Jímání vody z podzemních zdrojů může být vertikální, horizontální nebo kombinované.

#### *Vertikální jímání*

Vertikálním jímáním rozumíme jímání studnami. Studny musí být situovány tak, aby odběrem z nich nebyly ovlivněny již existující zdroje vody. Dají se rozdělit dle typu konstrukce na studny jehlové, vrtané, šachtové a radiální. Každý způsob konstrukce se využívá v jiných podmínkách a studna má proto odlišné vlastnosti. Dále se dají studny dělit dle hladiny na studny s volnou a napjatou hladinou. [2]

**Studny jehlové**, známé také jako zárazné, jsou trubní studny o průměru 30–80 mm. Ocelové nebo nerezové trubky jsou ve spodní části perforované a také jsou opatřené hrotem na konci. Do země se zarážejí přímo ze zemského povrchu. Navrhují se do hloubky až 50 metrů. Jehlové studny se využívají při malých odběrech do 0,5 l/s. [1]

**Vrtané studny** mají výhodu v tom, že lze provádět v jakékoliv hornině. Vrtání se provádí různou technikou a zařízením vhodným pro dané geologické poměry. Hloubku mívají do 100 metrů a jsou vhodné pro větší jímací území. Při výstavbě se do země zapouští pažnice<sup>2</sup> a po vyhloubení se do ní vsune zárubnice<sup>3</sup> z PVC nebo oceli. Zárubnice je na své spodní části perforovaná. [1], [2]

**Studny šachtové** se využívají při jímání větších objemů vody a vyplatí se je budovat do hloubky asi 15 metrů, hlubší by byly neekonomické. Největší výhodou šachtových studní je, že tento typ studny má

<sup>2</sup> Kolona plnostěnných ocelových trubek

<sup>3</sup> Kolona trubek k menšímu průměru než pažnice

velkou stykovou plochu pláště a zvodnatělé vrstvy. Díky tomu je možné snižovat vtokovou rychlost a tím zamezit vplavování písků do studny. Tyto studny se dají vystavět z cihel, betonu, prefabrikovaného železobetonu. Rozlišujeme šachtové studny

- kopané,
- spouštěné. [2]

Kopané studny jsou menších průměrů (do 1,5 metru) a hloubek než studny spouštěné. Používají se z důvodů možnosti akumulace většího množství vody a také v případě, že se kopaná studna používá jako sběrná studna pro soustředění vody. Plášť se vytváří z železobetonových prstencových skruží, které se ve zvodnatělé vrstvě osazují nasucho, tak aby spárami mohla do studny proudit voda. V horní části se na vnější stranu dává jílové těsnění, pod ním se nachází hlinitá zaspávka a u dna studny se nachází štěrkopískový obsyp. [7]

Spouštěné studny mívají průměr od 3 do 6 metrů. V první řadě se vykope stavební jáma o hloubce nejméně 2 metry a na dno je umístěn betonový věnec se zabetonovaným ocelovým břitem, který usnadňuje klesání studny. Pomocí bednění se vybetonuje plášť studny do výše 1 metr nad terénem a následně se začne těžit drapákem zemina ze dna. Studna postupně klesá a nadezdívá se. Při tomto procesu je nutné sledovat směr klesání a případná vybočení. [7]

#### *Horizontální jímání*

Navrhuje se v místech, kde je malá mocnost zvodnatělé vrstvy (přibližně 1 metr) a zároveň se nepropustné podloží nenachází hluboko pod povrchem (do 5 metrů).

K jímání se dají využít jímací zářezy, a to především v místech, kde voda samovolně vyvěrá z povrchu. Při zřízení jímacích zářezů nesmí dojít ke změně režimu proudění podzemní vody a její hladina musí taktéž zůstat stejná. Zářez se provádí v otevřeném výkopu, který je potřeba řádně pažit a odpažovat, aby ve stěnách nevznikly trhliny. Ze zářezu je voda odváděna jímacím drénem a vede z pramenní jímky do jímky sběrné. Vydátnost zářezů závisí na bezprostředních srážkách, protože se jedná o vodu podpovrchovou nebo o přirozený přepad z podzemních nádrží. Odběr z těchto zářezů nejde nijak regulovat, což vede k plýtvání podzemní vodou a z toho důvodu je snaha nahradit zářez jiným způsobem jímání. [1]

Další způsob horizontálního jímání je ražení štol do pevných hornin. Voda se do štol dostává otvory, které jsou umístěny ve spodní části stěn. Dále je voda sváděna do svodných žlabů, které se nachází po stranách průchodné lávky. Tento způsob jímání se používá v rozpukaných pískovcových útvech. [1]

#### *Kombinovaný způsob jímání*

Kombinovaným způsobem jímání se dají označit studny radiální se soustavou horizontálních jímacích drénů, které jsou paprskovitě vedeny z vertikální sběrné šachtové studny. Konstrukcí se jedná o studnu spouštěnou a má povahu sběrné studny se zabetonovaným dnem. Průměr mívá okolo 4-6 metrů. Horizontální drény jsou ocelové perforované trubky a vytlačují se ze šachtové studny pomocí hydraulických lisů. [7]

## 2.6 Jakost vody

### 2.6.1 Surová voda

Surová voda, je voda, která pochází z dešťových srážek nebo z podzemních a povrchových zdrojů, za účelem úpravy na pitnou vodu. Jakost vody závisí na meteorologických, geologických i místních podmínkách. Při výběru vhodného zdroje surové vody je snaha, aby měl vlastnosti, co nejpodobnější k vlastnostem pitné vody. Surovou vodu dělíme dle limitních hodnot ukazatelů kvality do tří kategorií. [2], [7]

Tabulka 2.1 Kategorie ukazatelů kvality pitné vody [8]

Označení	Popis
A1	Jednoduchá fyzikální úprava a dezinfekce, například rychlá filtrace a dezinfekce, popř. prostá písková filtrace, chemické odkyselení nebo mechanické odkyselení či odstranění plynných složek provzdušňováním.
A2	Běžná fyzikální úprava, chemická úprava a dezinfekce, koagulační filtrace, infiltrace, pomalá biologická filtrace, flokulace, usazování, filtrace, dezinfekce (konečné chlorování), jednostupňové či dvoustupňové odželezňování a odmanganování.
A3	Intenzivní fyzikální a chemická úprava, rozšířená úprava a dezinfekce, například chlorování do bodu zlomu, koagulace, flokulace, usazování, filtrace, adsorpce (aktivní uhlí), dezinfekce (ozon, konečné chlorování). Kombinace fyzikálně chemické a mikrobiologické a biologické úpravy.

### 2.6.2 Pitná voda

Pitná voda je zdravotně nezávadná voda, která musí vyhovět všem hygienickým požadavkům, které jsou dány zákonem č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a jeho prováděcí Vyhláškou č. 252/2004 Sb., obojí v platném znění. [2], [4]

Špatná kvalita pitné vody (ze zdravotního hlediska) může způsobovat [4]:

- Výskyt zárodků infekčních a parazitních nemocí
- Výskyt jedovatě působících látek
- Nedostatek biogenních látek (především mikroelementy) – v poměrech České republiky se jedná zvláště o fluór a jod

Pro zjištění nezávadnosti pitné vody se využívají indikátory, jejichž přítomnost ve vzorcích vody ukazuje na možné znečištění. Existují tři vyšetřovací metody, kterými je lze stanovit: mikrobiologické, chemické a biologické. [4]

Tabulka 2.2 vybrané ukazatele kvality pitné vody [2], [8]

Č.	Ukazatel	Symbol	Jednotka	Limit	Typ limitu
13	Amonné ionty	$\text{NH}_4^+$	mg/l	0,5	MH <sup>4</sup>
16	Barva	-	mg/l Pt	20	MH
22	Celkový organický uhlík	TOC	mg/l	5	MH
23	Dusičnany	$\text{NO}_3^-$	mg/l	50	NMH <sup>5</sup>
24	Dusitany	$\text{NO}_2^-$	mg/l	0,5	NMH
26	Fluoridy	$\text{F}^-$	mg/l	1,5	NMH
27	Hliník	Al	mg/l	0,2	MH
28	Hořčík	Mg	mg/l	10 (20-30)	MH (DH <sup>6</sup> )
29	Chemická spotřeba kyslíku	CHSK – Mn	mg/l	3	MH
32	Chloridy	$\text{Cl}^-$	mg/l	100	MH
34	Trichloreten	TCE	μg/l	10	NMH
35	Tetrachloreten	PCE	μg/l	10	NMH
39	Mangan	Mn	mg/l	0,05	MH
40	Měď	Cu	μg/l	1000	NMH
43	olovo	Pb	μg/l	10	NMH
44	Ozon	$\text{O}_3$	μg/l	50	MH
45	Pach	-	-	Přijatelný pro odběratele	MH
46	Pesticidní látky	-	μg/l	0,1	NMH
48	pH	-	-	6,5 - 9,5	MH
53	Sodík	Na	mg/l	200	MH
59	Vápník	Ca	mg/l	30 (40–80)	MH (DH)
60	Vápník a hořčík	Ca + Mg	mmol/l	2 – 3,5	DH
65	Železo	Fe	mg/l	0,2	MH

#### Hodnota pH

Počet iontů vodíku určuje, zda se jedná o vodu kyselou, neutrální nebo zásaditou. Hodnota pH pro destilovanou vodu při 25 °C je 7,0. Hodnoty pH se pohybují v rozmezí 0–14. Kyselý roztok se pozná podle vysoké koncentrace protonů a jeho hodnota pH je menší než 7. Naopak zásadité roztoky mají nízkou koncentraci protonů a jejich hodnota pH je větší než 7. Pro pitnou vodu je nejvhodnější reakce

<sup>4</sup> MH – mezní hodnota – překročení nepředstavuje akutní zdravotní riziko [2]

<sup>5</sup> NMH – nejvyšší mezní hodnota – překročení hodnoty znamená, že voda nemůže být používána jako pitná [2]

<sup>6</sup> DH – doporučená hodnota – nezávazná hodnota, která stanovuje minimální žádoucí nebo přijatelnou koncentraci dané látky [2]

neutrální nebo slabě alkalická. Při rozborech vody je stanovení pH zcela zásadní, protože ovlivňuje chemické a biochemické procesy ve vodách. [3], [7]

### **Železo a mangan**

Železo i mangan je v přírodních vodách v nižších koncentracích obsaženo běžně. Železo se do nich dostává ve vyšších koncentracích z rašelinišť a mangan se do vody dostává v důsledku chemických reakcí v podzemí při snížení hladiny podzemních vod. Oba prvky se ve vodě vyskytují v rozpuštěné i nerozpuštěné formě.

Ani jeden z prvků není nijak zdravotně závadný, pro spotřebitele je ale podstatné, že mají negativní vliv na pach a chuť vody. Dále způsobují provozní komplikace, protože obsahují sírné bakterie, které ztěžují filtraci, tvoří měkké inkrustace a také způsobují zarůstání potrubí. [7]

### **Organické látky**

Obsah organických látek ve vodě se dá vyjádřit pomocí celkového organického uhlíku (TOC), chemickou spotřebou kyslíku (CHSK) a biochemickou spotřebou kyslíku za 5 dnů (BSK<sub>5</sub>).

### **Tvrdost**

Tvrdost vody je způsobena vápenatými a hořečnatými solemi a je nežádoucí zejména při jejím použití pro užitkové účely. Způsobuje usazování vodního kamene v rozvodech vody a také při ohřevu v myčkách a pračkách. Na druhou stranu v minimálním množství je vápník a hořčík ve vodě prospěšný pro lidský organismus a má pozitivní vliv na chuť vody. [2], [7]

Tabulka 2.3 Meze tvrdosti vody [2]

Pitná voda – kategorie	Tvrdost [mmol/l]
Velmi tvrdá	>3,76
Tvrdá	2,51 – 3,75
Středně tvrdá	1,26 – 2,5
Měkká	0,7 – 1,25
Velmi měkká	<0,7

### **Chemická spotřeba kyslíku (CHSK)**

CHSK se dá definovat jako množství kyslíku potřebné k oxidaci (při použití silných oxidačních činidel) organických látek ve vodě. Ve vodárenství se používá jako oxidační činidlo manganistan draselný (KMnO<sub>4</sub>), jako oxidační činidlo se ale také dá použít dichroman draselný (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>). Určení hodnot CHSK je možné fotometricky. [2], [7]

### **Barva vody**

Barva vody může být ovlivněna mnoha faktory. V České republice zabarvení způsobují látky huminové, ligninové a rostlinné třísloviny. Určení barvy se provádí pomocí platinokobaltové stupnice (mg Pt/l). [3], [7]

### **Suspendované látky**

Suspendované (rozptýlené) látky se do povrchových vod dostávají splachem z povodí. Způsob odstranění těchto látek z vody závisí na jejich tvaru, množství a druhu. [3], [7]

### **Zákal**

Vznik zákalu se dá rozdělit na vznik v podzemních vodách a ve vodách povrchových. V podzemních vzniká například hydrolýzou solí železa nebo manganu. U povrchových vod je způsoben koloidními a jemně suspendovanými částicemi. Zákal se hodnotí průhledem vody proti bílé a černé podložce.

Hodnocení je od 0 do 5, kde 0 je zcela čirá voda a 5 je neprůhledná voda. Zákal se udává ve formazinových jednotkách ZF, dříve se vyjadřoval v mg SiO<sub>2</sub>/l. [3], [7]

#### *Tetrachlorethen (PCE<sup>7</sup>)*

Tetrachlorethen se používá v různých průmyslových odvětvích především pak v chemických čistírnách a při úpravě textilu. Horninovým prostředím se dostává do podzemních vod, kde kvůli nemožnosti vyprchání dlouhodobě přetrvává. U člověka může ve vysokých koncentracích ovlivňovat funkce centrální nervové soustavy a zároveň je toxický pro játra a ledviny. [14]

#### *Trichlorethen (TCE<sup>8</sup>)*

Trichlorethen se využívá především k odmašťování kovových výrobků a jako rozpouštědlo. Ve vodě podléhá biodegradaci, ale v anaerobních podmínkách v podzemních vodách může být degradován na toxičtější látky (např. chloreten). Na člověka může mít ve vyšších koncentracích vliv, který může vést až k selhání jater. Lidé, kteří se dlouhodobě setkávali s nižšími koncentracemi vykazovali tyto příznaky: spavost, bolest hlavy, rozmazané vidění, přechodná ztráta paměti a další. Tyto vlivy na člověka jsou nežádoucí a z toho důvodu je nutné TCE z vody odstraňovat. [14]

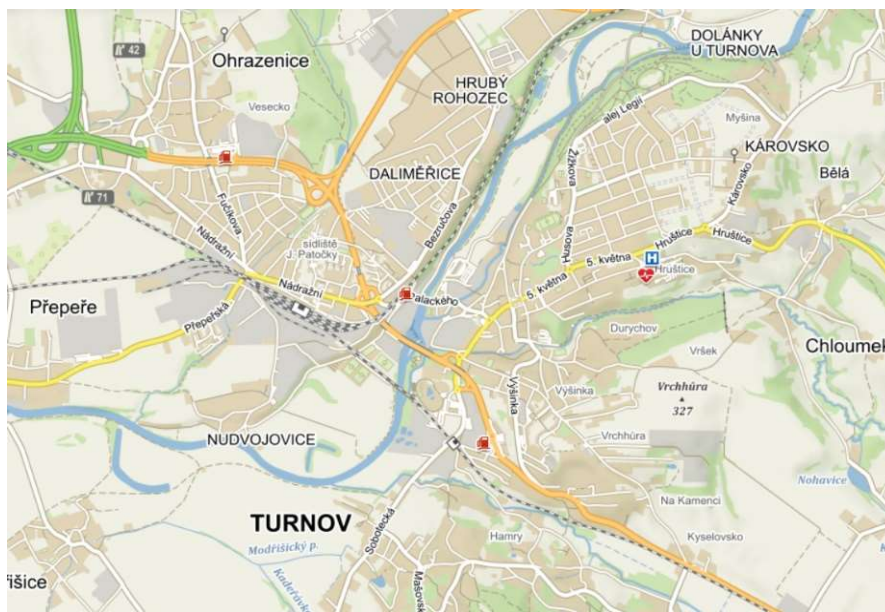
---

<sup>7</sup> Jiná označení např.: PCE – 1,1,2,2

<sup>8</sup> Jiná označení např.: TCE – 1,1,2

### 3 NUDVOJOVICE

Nudvojovice jsou jednou z třinácti evidenčních částí Turnova, který leží na severu České republiky v Libereckém kraji. Od Liberce je Turnov vzdálený přibližně 25 kilometrů jižním směrem. Městem protéká řeka Jizera se svými přítoky Vazoveckým a Odolenovickým potokem, které se napojují zprava, a Stebenkou a Libuňkou, které do Jizery přitékají zleva. V centru Turnova najdeme klasickou městskou zástavbu, na periferiích se pak nacházejí především rodinné domy se zahradami.



Obr. 3.1 Mapa města Turnov [5]

Název města: Turnov

Okres: Semily

Kraj: Liberecký

Rozloha: 22,71 km<sup>2</sup>

Průměrná nadmořská výška: 260 m.n.m.

Počet obyvatel: 14 420 (2020)

Obecní vodovod: Ano

Kanalizační síť, ČOV: Ano, Ano

Počet zdrojů vody: 8 (4x Nudvojovice, Dolánky, Kalich, Borek, Šlejferna)

Počet úpravny vody: 1x

Počet čerpacích stanic s úpravou vody: 1x

Počet vodojemů: 12 (3x Károvska, Hruštice, Metelka, Vrchhůra, 3x Ohrazenice, Malý Rohozec, Na Hranicích, Mašov) [6], [10]

Město Turnov má vodovod pro veřejnou potřebu, kterým zásobuje obyvatelstvo pitnou vodou. Trubní rozvody byly budovány postupně od roku 1925. Vlastníkem vodovodu je Vodohospodářské sdružení Turnov (dále VHS) a provozovatelem jsou Severočeské vodovody a kanalizace a.s. (dále SČVaK).

Text v následujících kapitolách bude vycházet z informací uvedených v technické zprávě [13] zpracované při přípravě projektu intenzifikace úpravy vody Nudvojovice.



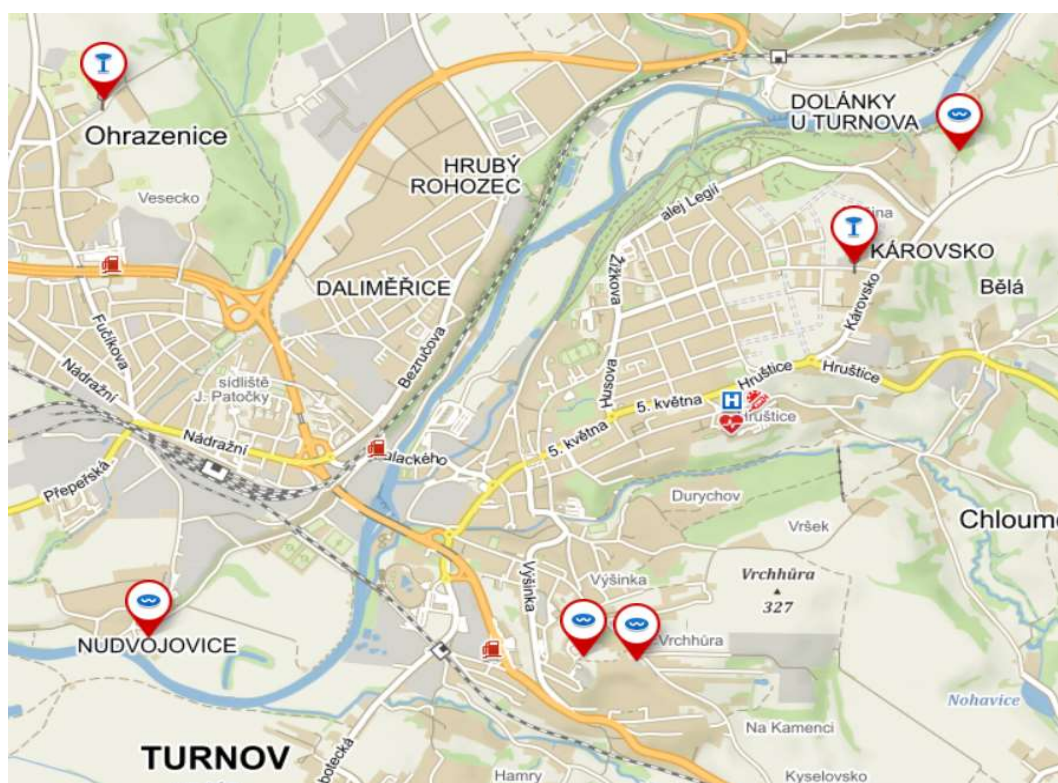
### 3.1 Úpravna vody Nudvojovice

V průběhu let 1975 až 1982 vzniklo postupně v Nudvojovicích šest vrtů pro jímání podzemní vody. Do roku 1991 byla voda pouze desinfikována a dále odváděna do vodojemů. V roce 1991 byla uvedena do provozu úpravna vody (dále jen ÚV) Nudvojovice. Důvodem vybudování úpravní bylo zvýšení výskytu těkavých chlorovaných uhlovodíků z ekologických zátěží především z textilního průmyslu. O této úpravně budou pojednávat další kapitoly této práce. [12]

Zdroj vody v Nudvojovicích je jedním ze dvou hlavních zdrojů zásobujících turnovské obyvatele pitnou vodou. Druhým prameništěm jsou Dolánky, ty ale nemají ochranu proti povodňovým vlnám a hrozí natékání vody do jímacích objektů. Při povodních jsou tedy nepoužitelné. Z této úpravní je voda vedena do dvou spotřebišť – Ohrazenice a Károvska. Na přiložené mapě je znázorněno umístění úpravní vody v Nudvojovicích i umístění vodojemů v Ohrazenicích a na Károvsku. [10], [11]

Úpravna se nachází v záplavovém území Jizery a její rekonstrukce nemá vliv na stávající odtokové poměry v zájmovém území. Při zpracování projektu byly provedeny výpočty hladin v jednotlivých profilech řeky Jizery v km 77,8 – 79,0 při průtocích Q5, Q20 a Q100. Hladina při Q100 byla stanovena v místě ÚV Nudvojovice na 246,36 m.n.m.

V roce 2014 byla zpracována studie intenzifikace úpravní vody v Nudvojovicích a závěry byly v roce 2016 zpracovány do projektové dokumentace. Rekonstrukce byla zahájena v roce 2018. Zkušební provoz byl původně navržen od prosince 2018 na 6 měsíců, ale vzhledem ke komplikacím spojeným s nevyhovujícími rozbory vody byl prodloužen na dva roky do prosince 2020. V této prodloužené době bylo potřeba navrhnout řešení nevyhovujících rozporů a instalovat potřebné dodatečné vybavení úpravní. Stavba doplněná o potřebné objekty byla dokončena k 30.9.2020. Úpravna je v provozu od ledna 2021. [12]



Obr. 3.2 Mapa vodojemů v zájmovém území [5]

## 4 ÚPRAVNA VODY NUDVOJOVICE PŘED REKONSTRUKCÍ

### 4.1 Jímání

Před rekonstrukcí se využívalo celkem 6 vrtů v blízkosti ÚV v Nudvojovicích. Níže jsou vypsaný vydatnosti zdrojů a stručný popis konkrétního vrtu. Umístění jednotlivých vrtů a ÚV je znázorněno v příloze A - Situace.

#### *ČS nad vrtem TN – 1*

Vydatnost: 10 l/s

Jedná se o nejstarší ze všech vrtů o hloubce přibližně 90 metrů. Tento vrt neměl nadzemní část a sloužil původně sloužil k přímému čerpání vody do vodojemu Károvska. Z toho důvodu měl na výtlačném potrubí osazen uzávěr s elektropohonem a v přízemí objektu byla umístěna protirázová ochrana.

#### *ČS nad vrtem TN-2*

Vydatnost: 35 l/s

Jedná se o vrt umístěný v podzemní šachtě o hloubce přibližně 19,5 metru. Tento vrt neměl nadzemní část a část podzemní se skládala z dvou vedle sebe umístěných šachet – vodoměrné a čerpací.

#### *ČS nad vrtem T-2*

Vydatnost: 20 l/s

Jedná se o vrt sahající do hloubky přibližně 90 metrů, který neměl nadzemní část a podzemní část se skládala z dvou vedle sebe umístěných šachet – vodoměrné a čerpací. Před čerpací šachtou, která se nacházela v podzemí v blízkosti vrtu se také nacházela armaturní šachta sloužící pro umístění šoupat.

#### *ČS nad vrtem T-4*

Vydatnost: 40 l/s

Jedná se o vrt hluboký přibližně 90 metrů. Tento vrt neměl nadzemní část a podzemní část se skládala z dvou vedle sebe umístěných šachet – vodoměrné a čerpací. Čerpací šachta nebyla osazena čerpadlem a nacházela se v podzemí v těsné blízkosti vrtu. Před čerpací šachtou se nacházela armaturní šachta sloužící pro umístění šoupat.

#### *ČS nad vrtem T-5*

Vydatnost: 20 l/s

Jedná se o vrt hloubky přibližně 90 metrů, který neměl nadzemní část. Podzemní část se skládala z dvou vedle sebe umístěných šachet – vodoměrné a čerpací. Ve vodoměrné šachtě nebyl osazen vodoměr.

#### *ČS nad vrtem L-5*

Vydatnost: 15 l/s

Tento vrt je druhým nejstarším vodním zdrojem v dané oblasti. Jeho hloubka je okolo 83,5 metru. Nad vrtem se nacházel nadzemní objekt o dvou místnostech. Každá z nich měla samostatný vchod, zatímco první sloužila jako strojovna, druhá plnila funkci skladu. a plnily jiný účel. Vedle ČS se nacházela podzemní armaturní šachta sloužící k umístění šoupat.



Obr. 4.2 Vrt T2 před rekonstrukcí, foto Bc. Ondřej Šimůnek



Obr. 4.1 Vrt T5 před rekonstrukcí, foto Bc. Ondřej Šimůnek

#### 4.1.1 Doprava

Z vrtů byly vedeny čtyři ocelové přívodní řady DN 200 směrem k úpravně vody. Vrtů TN1, TN2 a T2 měly společné jedno přívodní potrubí. Na přívodních potrubích byly instalovány přechodky, vodoměry DN 100 a zpětné klapky DN200. Tato potrubí se nakonec spájela do jednoho společného s DN 400.

Za vodoměry byly osazeny svislé odbočky DN 150 se šoupaty, která jsou zaústěna do společného potrubí DN 350. Toto potrubí vede vodu přes stripovací věž do akumulace.



Obr. 4.4 Přívodní potrubí z vrtů, foto Bc. Ondřej Šimůnek



Obr. 4.3 Výpust z ÚV, foto Bc. Ondřej Šimůnek

## 4.2 Jakost vody

Jakost vody před rekonstrukcí je shrnuta v následujících kapitolách.

Do statistik nebyly zahrnuty rozborů surové vody ze všech vrtů, ale pouze rozborů z vrtu TN2 případně surové směsi přitékající na ÚV, a to z důvodu, že před rekonstrukcí nebyly na jednotlivých vrtech vzorkovací kohouty a v provozu byl především vrt TN2, případně v kombinaci s dalším z vrtů.

#### 4.2.1 Surová voda

Kvalita surové vody narázově nevyhovovala v některých mikrobiologických a biologických ukazatelích (např. koliformní bakterie, escherichia coli, enterokoky,...). Dále se v surové vodě kolísavě vyskytovali



chlorované uhlovodíky. Kromě těchto problematických faktorů byli chemické, fyzikální a organoleptické vlastnosti surové vody v pořádku.

Jakost surové vody před rekonstrukcí popisují průměrná data za roky 2004-2018, která jsou přehledně uvedena v následující tabulce. Červené podbarvení znázorňuje, že průměrná data nevyhovují mezní hodnotě koncentrace dané látky ve vodě, modré podbarvení značí, že látka neleží v rozmezí doporučených hodnot, vyhovuje podmínce mezní hodnoty.

Do statistik nebyly zahrnuty rozborů surové ze všech vrtů, ale pouze rozborů z vrtu TN2 případně surové směsi přitékající na ÚV, a to z důvodu, že před rekonstrukcí nebyly na jednotlivých vrtech vzorkovací kohouty a v provozu byl především vrt TN2, případně v kombinaci s dalším z vrtů. Ve většině případech se data o tom, který vrt byl v době odebrání vzorů v provozu nezaznamenávala.

Tabulka 4.1 Rozborů surové vody problematických ukazatelů-průměry v jednotlivých letech 2004-2018

rok odběru	počet odběrů	Fe	Ca	Mg	Ca+Mg	pH	TCE 1,1,2	PCE 1,1,2,2
		mg/l	mg/l	mg/l	mmol/l	-	µg/l	µg/l
Limity dle vyhlášky 252/2004 Sb.	-	0,2 MH <sup>9</sup>	30 (40-80) MH (DH <sup>10</sup> )	10 (20-30) MH (DH)	2-3,5 DH	6,5-9,5 MH	10 NMH <sup>11</sup>	10 NMH
2004	4	0,079	137	8,8	3,78	7,1	1,4	9,9
2005	8	0,059	131	9,1	3,65	7,1	0,6	8,5
2006	7	0,059	135	9,1	3,74	7,0	0,3	8,4
2007	8	0,059	135	8,6	3,73	7,1	0,3	6,6
2008	18	0,059	136	8,7	3,76	7,1	0,2	2,3
2009	5	0,083	128	10,1	3,61	7,1	0,2	5,5
2010	4	0,062	129	9,8	3,61	7,1	neměřeno	neměřeno
2011	3	0,073	134	8,9	3,70	7,1	neměřeno	neměřeno
2012	3	0,120	134	9,7	3,74	7,0	neměřeno	neměřeno
2013	3	0,106	121	9,8	3,41	7,0	neměřeno	neměřeno
2014	3	0,049	139	9,0	3,84	7,0	neměřeno	neměřeno
2015	8	0,049	154	9,7	4,23	7,0	0,2	5,3
2016	3	0,086	137	9,4	3,81	7,0	neměřeno	neměřeno
2017	3	0,316	128	9,5	3,59	7,0	neměřeno	neměřeno
2018	8	0,049	136	10,3	3,82	7,0	0,6	2,7

Z tabulky vyplívá, že rozborů vápníku a hořčíku nevyhovují (kromě roku 2013) doporučené hodnotě dané vyhláškou č. 252/2004 Sb. Dále je zjevné (červené hodnoty), že hořčíku je v surové vodě nedostatek oproti mezní hodnotě, pouze v letech 2009 a 2018 koncentrace překročila minimální množství, ale nedostáhla doporučených hodnot, které jsou 20–30 mg/l.

Opačný problém nastává u vápníku, kterého je dle průměrných rozborů více jak čtyřnásobek minimální mezní hodnoty, což je zároveň více jak 1,5násobek maximální doporučené hodnoty. Takto velké

<sup>9</sup> mezní hodnota – překročení nepředstavuje akutní zdravotní riziko

<sup>10</sup> doporučená hodnota

<sup>11</sup> Nejvyšší mezní hodnota – překročení znamená, že voda nemůže být používána jako pitná

nadbytky vápníku ve vodě způsobují problémy v rozvodné síti spojené s inkrustací potrubí a také u spotřebitelů ve spotřebičích.

Dále je potřeba zmínit okolnosti výsledků průměrné koncentrace železa v roce 2017. Tento rok se na surové vodě prováděly pouze tři rozборы, které jsem zahrnula do níže uvedené statistiky. Hodnoty koncentrace železa byly následující:

Tabulka 4.2 Výsledky rozborů koncentrace železa v surové vodě v roce 2017 a jejich vyhodnocení

datum	Fe	průměr všech hodnot	průměr vyhovujících hodnot	Limit (MH) dle vyhlášky 252/2004 Sb.
	mg/l			mg/l
03.04.2017	0,85	0,32	0,05	0,2
07.09.2017	0,05			
21.11.2017	0,05			

Z této tabulky je zjevné, že se u rozboru ze dne 3.4.2017 jedná o jednorázový výkyv, chybu měření nebo případně o lidskou chybu při zpracování vzorků. Nejpravděpodobnější je, že byl rozbor prováděn brzy po spuštění vrtu, který dlouho nebyl v provozu. Železo se do vody mohlo dostat ze starého zkorodovaného potrubí a daný rozbor mohl zachytit tento atypický stav. Pro další statistické údaje se bude pro rok 2017 uvažovat hodnota koncentrace železa 0,05 mg/l. Ta byla získána z průměru zbylých vzorků v daném roce.

V roce 2010 se zlepšila přesnost měření TCE z přesnosti 0,2 na 0,1 mg/l.

Z důvodu, že kvalita vody by bez úpravy nebyla v některých případech dostačující bylo nutné využívat vhodné způsoby úpravy pro docílení vhodných hodnot koncentrací.

#### 4.2.2 Pitná voda

Z níže uvedená tabulka obsahuje průměrná data o problematických ukazatelích kvality pitné vody na odtoku z úpravně vody v jednotlivých letech 2004-2018. Červené podbarvení znázorňuje, že průměrná data nevyhovují mezní hodnotě koncentrace dané látky ve vodě, modré podbarvení značí, že látka neleží v rozmezí doporučených hodnot, vyhovuje podmínce mezní hodnoty.

Ve vzorcích po úpravě byl pravidelně sledován velmi vysoký obsah vápníku, a to více než čtyřnásobný oproti mezní hodnotě stanovené vyhláškou. Dlouhodobě vysoké obsahy vápníku byly způsobeny používáním provzdušňovací věže a vytvářely problémy na síti a u spotřebitelů.

Dále ve všech letech nevyhovovala doporučeným hodnotám stanoveným vyhláškou data vápníku + hořčíku, samostatný hořčík nevyhověl mezní hodnotě v letech 2009-2012 a v roce 2018. V ostatních letech vyhověl, ale jeho obsah nedosáhl nezávazných doporučených hodnot daných vyhláškou.

V roce 2013 se se přesnost měření koncentrace železa zvýšila z hodnoty 0,06 mg/l na 0,05 mg/l.

Tabulka 4.3 Rozbory problematických ukazatelů na odtoku u úpravní vody-průměry v jednotlivých letech 2004-2018

rok odběru	počet odběrů	Fe	Ca	Mg	Ca+Mg	pH	TCE 1,1,2	PCE 1,1,2,2
		mg/l	mg/l	mg/l	mmol/l	-	µg/l	µg/l
Limity dle vyhlášky 252/2004 Sb.	-	0,2 MH	30 (40-80) MH (DH)	10 (20-30) MH (DH)	2-3,5 DH	6,5-9,5 MH	10 NMH	10 NMH
2004	8	0,09	133	11	3,8	7,2	1,7	8,0
2005	10	0,06	136	10	3,8	7,1	1,0	8,0
2006	18	0,06	140	11	3,9	7,3	0,7	7,6
2007	11	0,11	143	10	4,0	7,2	0,1	4,6
2008	6	0,09	133	11	3,8	7,2	1,7	8,0
2009	10	0,07	128	8	3,5	7,2	0,3	2,6
2010	6	0,07	136	9	3,8	7,1	0,1	2,1
2011	5	0,06	132	8	3,6	7,2	0,3	4,5
2012	7	0,06	131	9	3,6	7,1	0,5	2,9
2013	8	0,06	132	10	3,7	7,1	0,5	3,3
2014	7	0,07	137	11	3,8	7,2	0,1	4,5
2015	8	0,06	143	11	4,0	7,2	0,4	2,7
2016	7	0,08	139	10	3,9	7,2	0,5	3,6
2017	7	0,12	131	10	3,7	7,1	0,6	4,2
2018	15	0,07	131	9	3,6	7,2	0,3	2,5

### 4.3 Úprava vody

Do roku 1991 byla voda pouze desinfikována a dále odváděna do vodojemů. V roce 1991 byla uvedena do provozu úpravná voda Nudvojovice. Důvodem vybudování úpravní bylo zvýšení výskytu těkavých chlorovaných uhlovodíků z ekologických zátěží. Tento problém musí úpravná řešit i aktuálně.

Jako řešení bylo navrženo provzdušňování ve stripovací věži při vyšším výskytu chlorovaných uhlovodíků. Proto se dá úprava rozdělit na přímý přívod vody do akumulární nádrže a nepřímý přívod vody (přes provzdušňovací věž) do akumulární nádrže.

#### 4.3.1 Přímý přívod vody do AN

Při přímém přívodu proudí voda od vrtů postupně až do potrubí DN400, které ústí do akumulární nádrže. Před vstupem do akumulace je do potrubí zaústěna trubka s nasyceným chlorovaným roztokem.

##### Chlorování

Dávkování nasyceného chlorovaného roztoku bylo nutné z důvodu zabezpečení hygienické nezávadnosti vody.

#### 4.3.2 Nepřímý přívod vody do AN (přes provzdušňovací věž)

Při nepřímém přívodu byla voda nejprve vedena do provzdušňovací věže a až poté byl dávkován chlor a voda byla vedena do akumulace. Díky instalovaným šoupatům, bylo možné upravovat za pomoci stripovací věže ty zdroje, které měly nevyhovující hodnoty kvality vody a ty vyhovující mohly nadále proudit přímo do akumulace. Tento způsob úpravy se před rekonstrukcí využíval pouze výjimečně.

### *Provzdušňovací věž*

Před rekonstrukcí byla provzdušňovací věž umístěna mimo objekt úpravně a byla z oceli. Její výška byla menší než nyní a také byla navržena na nižší průtoky (40 l/s) než aktuální věž.

Před rekonstrukcí se provzdušňovací věž používala zřídka z důvodu, že na síti vznikaly problémy spojené se srážením vápníku. Problematické bylo, že rozbory na úpravně i při provozu věže vycházely v pořádku a problém nastával až na síti a u spotřebitelů. Vápník způsoboval, že voda byla příliš tvrdá, potrubí více zarůstalo a u spotřebitelů ve spotřebičích vznikala vodní kámen.



Obr. 4.5 ÚV Nudvojovice s provzdušňovací věží před rekonstrukcí, foto Bc. Ondřej Šimůnek



Obr. 4.6 Demontáž provzdušňovací věže, foto Bc. Ondřej Šimůnek

### *Chlorování*

Množství dávkovaného chloru nebylo ovlivněno průchodem přes stripovací věž. Chlor byl do vody dávkován z důvodu hygienické nezávadnosti vody.

### **4.3.3 Odtok**

Před rekonstrukcí sloužilo pro odběr potrubí DN 250 na jehož konci byly umístěny vtokové koše. V armaturní komoře se potrubí dělilo na dvě potrubí, na kterých byly umístěny uzavírací šoupata a zpětné klapky. Tyto potrubí vedla pitnou vodu ke čtyřem čerpadlům – pro každé spotřebiště sloužila dvě čerpadla, s tím že jedno byla vždy 100% rezerva. Pomocí čerpadel se voda dostávala do vodojemů pro spotřebiště Ohrazenice a Károvsko.



Obr. 4.7 Čerpadla na ÚV Nudvojovice před rekonstrukcí [11]

## 4.4 Budova úpravny vody

Budova úpravny měla rozměry 31,16 x 13,2 metru a byla částečně podsklepena. V suterénu se nacházelo trubní vybavení. V objektu se nacházel sklad, rozvodna, spisovna, chodba, umývárna s WC, sklad chloru, chlórarna a vyhrazený prostor pro ČS. Vstupy do chlórarny a skladu chloru byly zajištěny samostatně z vnějšího prostředí po schodech s podestou.



Obr. 4.9 Budova UV Nudvojovice před rekonstrukcí [11]



Obr. 4.8 Strojovna úpravny vody Nudvojovice před rekonstrukcí [11]

Součástí ÚV byla akumulční nádrž jejíž vstup byl zajištěn z ploché střešy žebříkem. Na pozemku se taktéž nacházel septik, do kterého byly svedeny odpadní vody ze sociálních zařízení. Voda předčištěná, srážková a voda z akumulční nádrže (přeliv a výpust) byly odváděny do řeky Jizery. Celá úprava byla oplocena.

## 4.5 Problémy a důvody rekonstrukce

Hlavní důvody rekonstrukce úpravny vody v Nudvojovicích byly následující:

- Zlepšení jakosti pitné vody, především odstranění chlorovaných uhlovodíků ze surové vody
- Zvýšení kapacity upravované vody
- Zajištění využívání pouze vrtů s co nejlepší jakostí vody
- Zabezpečení provozu i při stoleté vodě

Podzemní voda je ale kontaminovaná přítomností chlorovaných uhlovodíků. Byl vypracován odborný posudek na zdravotní rizika [9], ze kterého vyplývá, že pro pitné účely je nutné distribuovat vodu s co nejnižšími hodnotami chlorovaných uhlovodíků, tak aby se vyloučilo individuální riziko nádorového onemocnění. Dle tohoto posudku by se koncentrace měla pohybovat do 0,2 µg/l, resp. 0,05 µg/l. Z těchto hodnot a posudku vyplývá, že je nutné na úpravně instalovat provzdušňovací zařízení o maximálním výkonu, který je schopná ÚV pojmout, což je přibližně 50 l/s.

Při povodních docházelo k zatékání vody z blízké řeky Jizery do vrtů, protože již hladina vody při Q20 (dvacetileté vodě) by dokázala zaplavit stávající vrtu a tím kontaminovat jímankou vodu. Z toho důvodu bylo nutné navrhnout náležitou ochranu ČS nad vrtu před velkými vodami. Když nastala situace, že se voda z řeky vylila do rovinného území v okolí vrtů, tak docházelo k poruchám na napěťových kabelech k jednotlivým vrtům. V neposlední řadě nezbytné zajistit nezávislost obou zdrojů v dané lokalitě pro spolehlivou dodávku pitné vody i v obdobích sucha.



## 5 ÚPRAVNA VODY NUDVOJOVICE PO REKONSTRUKCI

Rekonstrukce zdrojů a ÚV Nudvojovice se zabývala:

- Rekonstrukcí ČS nad vrty (strojní i stavební část)
- Rekonstrukcí svodných řádů
- Rekonstrukcí vnějších kabelových řádů
- Výměna trafostanice a souvisejících objektů
- Rekonstrukce úpravny vody Nudvojovice (strojní i stavební část)
- Nové oplocení, zpevněné plochy, příjezdová komunikace, terénní a sadové úpravy

### 5.1 Jímání

#### 5.1.1 ČS a vrty

Původně se využívalo šest vrtů, ale v rámci vyhodnocení jejich stavů bylo rozhodnuto o zakonzervování dvou vzdálenějších vrtů z důvodů:

- Kontaminace povrchovými vodami byla vyšší než u ostatních vrtů.
- Velká vzdálenost od objektů úpravy, tedy i vysoké náklady na nové trubní propoje a kabelové řady.
- Špatný technický stav a s tím související vysoké náklady na rekonstrukci.
- Vydatnost ostatních zdrojů pokraje požadavky i rezervu na odběry podzemní vody pro ÚV Nudvojovice.

U ostatních čtyř vrtů bylo nutné navrhnout opatření, která by zajistila spolehlivý provoz i za povodňových stavů. V rámci projektu je to vyřešeno zvýšením zhlaví vrtů o 500 mm nad hladinou stoleté vody. Zvýšení zárubnice zvětšilo i světlou výšku čerpacích šachet a vzhledem ke změnám v terénu je nutné zvětšení i světlé výšky vodoměrných šachet.

V projektu bylo navrženo, aby byly vybourány stropní desky a bylo přibetonováno dno a stěny jímek, tak aby byla celá šachta vodotěsná a zajistila bezpečný vstup i s rezervou nad hladinou stoleté vody, zároveň bylo navrženo ubourání a zasypání armaturních šachet u všech vrtů. Po odkrytí zeminy a zjištění stavu jednotlivých objektů bylo navrženo kompletní vybudování nových šachet nad vrty.

Níže jsou vypsány základní informace o čerpacích stanicích a vrtech. Podrobný seznam s popisem strojů a zařízení, které byly instalovány v rámci intenzifikace úpravy vody v Nudvojovicích je součástí příloh projektové dokumentace.

Při zkouškách byl prioritním vrtem byl stanoven vrt T-4 o nastavené vydatnosti 20 l/s a v různých kombinacích k němu byly přidávány ostatní vrty s nastavenou vydatností 10 l/s. Tím byl splněn požadavek na maximální výkonnost odběru z jímacích objektů 50 l/s.

Jednotlivé vrty lze kombinovat následovně:

Tabulka 5.1 výkonnostní kombinace

vrty	Vydatnost [l/s]
T4+T2	30
T4+T5	30
T4+L5	30
T2+T5+L5	30

### *ČS nad vrtem TN – 1*

Tento vrt byl odstaven z provozu, vodotěsně zakonzervován a jeho nadzemní část byla zbourána. Nad šachtou byl vybudován nový železobetonový strop. Technologické součásti armaturní šachty byly demontovány, strop a stěny do výšky 0,5 metru pod terénem byly vybourány a celá šachta byla zasypána tepelněizolačním materiálem. Vrchní okraj zárubnice zůstal na kótě 245,47 m.n.m.

### *ČS nad vrtem TN-2*

Při rekonstrukci proběhla demontáž rozvaděče NN, technologického vystrojení a bylo provedeno zabetonování otvoru pro trubní vedení. Tento vrt byl odstaven z provozu a vodotěsně zakonzervován. Vrchní okraj zárubnice se stále nachází na kótě 246,10 m.n.m.

### *ČS nad vrtem T-2*

Navržené úpravy spočívaly především v prodloužení zhlaví vrtu a zvýšení šachet se zajištěním nepropustnosti. Po zahájení prací bylo zjištěno, že šachta nebyla v tak dobrém stavu, jak se předpokládalo. Bylo nutné ji vybourat a na jejím místě vybudovat novou se stejnými parametry, jaké měla předchozí šachta.

Vypočtená výška hladiny při  $Q_{100}$  je 247,00 m.n.m. Vrchní okraj zárubnice je nyní na kótě 247,50 m.n.m., před rekonstrukcí byl o 2 metry níže, tedy ve výšce 245,50 m.n.m. Elektrický pilíř byl přesunut na vrchol šachet, aby nedošlo k jeho zaplavení při povodních, dále proběhla změna umístění řídicího systému i zárubnice, ty nyní splňují normu a nachází se o 0,5 metru nad stoletou vodou. V neposlední řadě proběhla celková výměna technického vybavení jako jsou žebříky, poklopy a armatury. Armaturní šachta se šoupaty byla zrušena, všechno vybavení bylo demontováno.

Vydatnost zdroje se nezměnila a je tedy přibližně 20 l/s. Při návrhu čerpadla se uvažovalo s čerpaným množstvím okolo 15 l/s a proto bylo navrženo ponorné článkové čerpadlo s pracovním bodem  $Q = 16 \text{ l/s}$  a  $H = 45,3 \text{ m}$  a motorem o výkonu  $P_2 = 11 \text{ kW}$ .

### *ČS nad vrtem T-4*

Stejně jako u vrtu T-2 byly navržené úpravy zaměřeny především na prodloužení zhlaví vrtu a zvýšení šachet se zajištěním nepropustnosti. Taktéž se ukázalo, že šachta byla v nevyhovujícím stavu a bylo nutné ji celou vybourat a na jejím místě vybudovat novou o parametrech předchozí šachty pouze s rozdíly popsány výše.

Vypočtená výška hladiny při  $Q_{100}$  je 246,93 m.n.m. Vrchní okraj zárubnice se nyní nachází na kótě 247,45 m.n.m., před rekonstrukcí byl o 2,15 metru níže, tedy ve výšce 245,30 m.n.m. Elektrický pilíř byl přesunut na vrchol šachet, aby nedošlo k jeho zaplavení při povodních, dále proběhla změna umístění řídicího systému i zárubnice, ty nyní splňují normu a nachází se o 0,5 metru nad stoletou vodou. Žebříky, poklopy a armatury, které se nacházely ve jímacím objektu byly nahrazeny novými. Armaturní šachta se šoupaty byla zrušena, všechno vybavení bylo demontováno.

Vydatnost zdroje se nezměnila a je tedy 40 l/s. Při návrhu čerpadla se uvažovalo s čerpaným množstvím okolo 30 l/s a proto bylo navrženo čerpadlo s pracovním bodem  $Q = 34,7 \text{ l/s}$  a  $H = 40,2 \text{ m}$  a motorem o výkonu  $P_2 = 22 \text{ kW}$ .

### *ČS nad vrtem T-5*

Podobně jako u předchozích vrtů, tak i tento nebyl ve stavu vhodném k dalšímu užívání. Byly na něm provedeny práce, jako na předchozích vrtech – vybourání starého jímacího objektu a vybudování nového nad stávajícím vrtem. Úpravy proti stavu před zahájením prací spočívaly především v prodloužení zhlaví vrtu a zvýšení šachet se zajištěním nepropustnosti.

Vypočtená výška hladiny při  $Q_{100}$  je 246,85 m.n.m. Vrchní okraj zárubnice je nyní na kótě 247,35 m.n.m., před rekonstrukcí byl o 2,10 metru níže, tedy ve výšce 245,25 m.n.m. Elektrický pilíř byl přesunut na vrchol šachet, aby nedošlo k jeho zaplavení při povodních, dále proběhla změna umístění řídicího systému i zárubnice, ty nyní splňují normu a nachází se o 0,5 metru nad stoletou vodou. Mimo tyto práce proběhla i celková výměna technického vybavení jako jsou žebříky, poklopy a armatury. Armaturní šachta se šoupaty byla zrušena, všechno vybavení bylo demontováno.

Vydatnost zdroje se nezměnila a je tedy 20 l/s. Při návrhu čerpadla se uvažovalo s čerpaným množstvím okolo 20 l/s a proto bylo navrženo čerpadlo s pracovním bodem  $Q = 21,4$  l/s a  $H = 41,9$  m a motorem o výkonu  $P_2 = 13$  kW.

#### ČS nad vrtem L-5

I tento jímací objekt bylo nutné vybourat a na jeho místě postavit nový. Rozdíl oproti minulému stavu byl v prodloužení zhlaví vrtu a zvýšení šachet se zajištěním nepropustnosti.

Vypočtená výška hladiny při  $Q_{100}$  je 246,36 m.n.m. Vrchní okraj zárubnice je nyní na kótě 246,81 m.n.m., před rekonstrukcí byl o 2,61 metru níže, tedy ve výšce 244,20 m.n.m. Díky tomuto posunu splňuje výška zárubnice normu, je tedy umístěna o 0,5 metru výše než hladina stoleté vody. Nadzemní část objektu i armaturní šachta se šoupaty byly zrušeny a všechno vybavení bylo demontováno. V jímacím objektu instalováno nové hlubinné čerpadlo, nerezové potrubí a nové armaturní prvky.

Vydatnost zdroje se nezměnila a je tedy 15 l/s. Při návrhu čerpadla se uvažovalo s čerpaným množstvím okolo 15 l/s a proto bylo navrženo čerpadlo s pracovním bodem  $Q = 16,7$  l/s a  $H = 45,3$  m a motorem o výkonu  $P_2 = 11$  kW.



Obr. 5.2 Vrt L-5 po rekonstrukci, foto vlastní



Obr. 5.1 Vrt T-2 po rekonstrukci, foto vlastní

#### 5.1.2 Ochranné pásmo

Prameniště Nudvojovice je chráněno ochrannými pásmy. Ochranné pásmo 1. stupně je plocha, která se nachází uvnitř oplocení jednotlivých vrtů.

Velikosti ochranných pásem 1. stupně vrtů v Nudvojovicích jsou:

Vrty TN-1 a TN-2: 760 m<sup>2</sup>

Vrt T-2: 428 m<sup>2</sup>

Vrt T-4: 374 m<sup>2</sup>

Vrt T-5: 422 m<sup>2</sup>

Vrt L-5: 388 m<sup>2</sup>

Vnitřní ochranné pásmo 2. stupně zabírá 44 ha a vnější ochranné pásmo 2. stupně zabírá plochu 996 ha. Vnější část ochranného pásma 2. stupně je společná pro prameniště Nudvojovice i Dolánky.

### 5.1.3 Trubní a kabelové propoje

Nově navržené trasy trubních a kabelových propojů jsou částečně vedeny v trase minulé. Mezi jednotlivými vrty a úpravnou jsou částečně uloženy do šterkové příjezdové cesty k nejbližším vrtům a částečně do zatravněné plochy, všechny tyto prostory jsou v majetku investora – VHS Turnov.

### 5.1.4 Doprava vody

Vrty T2, T4, T5 a L5 sdílí společný svodný řad na surovou vodu z nerezové oceli. Surová voda jím je dováděna do úpravy vody Nudvojovice. Pokud nastane zvýšení obsahu chlorovaných uhlovodíků je možné vést vodu do akumulace přes provzdušňovací věž (viz. Kapitola 0

Stejně jako před rekonstrukcí je možné v upravené vodě sledovat velmi vysoký obsah vápníku a s tím související i velká tvrdost vody. S touto tvrdostí se voda řadí do kategorie velmi tvrdá.

Oproti surové vodě má upravená vyšší pH. Zvýšení je způsobeno používáním provzdušňovací věže. Dále upravená voda obsahuje násobně menší koncentrace chlorovaných uhlovodíků, což bylo cíle celé rekonstrukce. Podrobněji budou jednotlivé ukazatele rozebrány v následujících kapitolách.

Úprava). Svodný řad má dvě dimenze a to DN 250 o délce 559,0 metru a DN 150 o délce 164 metru. Nově je potrubí z nerezové oceli AISI 316 tloušťky 3 mm a má menší profil než potrubí, které zde bylo před rekonstrukcí. [13]

Přívodní potrubí vede do armaturní komory, kde jsou na něj osazena uzavírací šoupátka, vodoměry a zpětné klapky. Dále vede potrubí s DN 300, které ústí do akumulační nádrže.

V případě, že surová voda obsahuje velké množství chlorovaných uhlovodíků, tak je voda vedena nejprve přívodním potrubím o DN 250. Za vodoměrem a zároveň před zpětnou klapkou je instalována odbočka se šoupátkem, kterým je voda vedena do provzdušňovací věže. Odtok z věže je řešen gravitačně potrubím DN 250, které vede z paty zařízení a ústí v armaturní komoře do nátokového potrubí akumulační nádrže. O způsobu vedení upravované vody na úpravě pojednává kapitola 5.3 Úprava vody.

Celkový systém využití prameniště Nudvojovice zůstal stejný jako před rekonstrukcí, došlo k výměně celého strojného technického vybavení, trubní sítě a kabelových propojů. Při jímání maximálního množství surové vody ze zdrojů bude potrubím protékat až 100 l/s. Údaje o vzdálenostech, profilech potrubí i armaturách jsou přehledně zpracovány v kladečském schématu, které bylo vypracováno v rámci projektu.

## 5.2 Jakost

### 5.2.1 Surová voda

Rozbory kvality surové vody po rekonstrukci při zkušebním provozu jsou vypsány v následující tabulce. Modré podbarvení značí, že látka neleží v rozmezí doporučených hodnot, vyhovuje podmínce mezní hodnoty.

Uvedené vzorky jsou za období zkušebního provozu, který trval od roku 2018 do konce roku 2020. Nejvíce užívaným vrtem byl vrt T4 případně v kombinaci s dalším vrtem. V některých případech nebylo uvedeno, o jaký zdroj se jedná a bylo pouze zaznamenáno, že se jedná o surovou směs více vrtů. V tom případě se uvažovalo, že jedním ze zdrojů byl vrt T4.

Ve vodě se dá stejně jako před rekonstrukcí sledovat nadměrné množství vápníku a od toho se odvíjející velká tvrdost vody. Co se týče chlorovaných uhlovodíků, tak jejich hodnoty se držely pod nejvyšší mezní hodnotou. Je možné u nich sledovat kolísání v koncentracích a je nutné je z vody dále odstraňovat. Celkově jakost surové vody navazuje bez výrazných rozdílů do dlouhodobých statistik jakosti vody před rekonstrukcí.

Tabulka 5.2 Hodnoty zájmových ukazatelů surové vody při zkušebním provozu

datum odběru	zdroj	Fe	Ca	Mg	Ca+Mg	pH	TCE 1,1,2	PCE 1,1,2,2
		mg/l	mg/l	mg/l	mmol/l	-	µg/l	µg/l
<b>Limity dle vyhlášky 252/2004 Sb.</b>		<b>0,2 MH</b>	<b>30 (40-80) MH (DH)</b>	<b>10 (20-30) MH (DH)</b>	<b>2-3,5 DH</b>	<b>6,5-9,5 MH</b>	<b>10 NMH</b>	<b>10 NMH</b>
25.10.2018	T4	<0,05	144	11,7	4,07	7,0	<1,00	1,8
06.02.2019	T4 + T2	<0,05	132	10,8	3,74	7,0	0,98	8,48
11.02.2019	T4 + T5	<0,05	133	10,8	3,76	7,0	0,70	4,26
13.02.2019	T4 + L5	<0,05	137	10,9	3,87	7,0	0,78	6,8
18.02.2019	T5 + T2	<0,05	140	11,9	3,98	7,0	0,95	7,99
25.02.2019	T4 + L5					7,0	0,74	6,35
27.02.2020	T4+?	0,06				7,1		
09.03.2020	T4+?					7,1	0,8	5,56
12.10.2020	T4+?					7,0	0,54	5,76
04.11.2020	T4+?					6,8	0,47	6,19

### 5.2.2 Pitná voda

#### Zkušební provoz

Při zkušebním provozu byla provedena řada měření pitné vody a byl zjištěn problém s výskytem uvolněného vápníku ve spotřebišti. Tento jev byl způsoben změnou fyzikálně chemických vlastností při provzdušňování ve stripovací věži, kde došlo k porušení hydrogenuhličitanové rovnováhy. Intenzivním provzdušněním došlo k odstranění chlorovaných uhlovodíků, ale zároveň k uvolnění CO<sub>2</sub>. Voda sice splňuje všechny požadavky pro pitnou vodu, ale způsobuje usazeniny na síti.

Rozbory kvality pitné vody po rekonstrukci při zkušebním provozu jsou vypsány v následující tabulce. Modré podbarvení značí, že látka neleží v rozmezí doporučených hodnot, vyhovuje podmínce mezní hodnoty.

Tabulka 5.3 Hodnoty zájmových ukazatelů pitné vody při zkušebním provozu

datum odběru	zdroj	Fe	Ca	Mg	Ca+Mg	pH	TCE 1,1,2	PCE 1,1,2,2
		mg/l	mg/l	mg/l	mmol/l		µg/l	µg/l
Limity dle vyhlášky 252/2004 Sb.		0,2 MH	30 (40-80) MH (DH)	10 (20-30) MH (DH)	2-3,5 DH	6,5-9,5 MH	10 NMH	10 NMH
06.02.2019	kohout ÚV	<0,05	132	10,8	3,75	8,1	<0,10	<0,10
11.02.2019	kohout ÚV	<0,05	133	10,7	3,76	7,3	0,59	3,13
13.02.2019	kohout ÚV	<0,05	136	10,9	3,84	8,1	<0,10	0,1
18.02.2019	kohout ÚV	<0,05	133	11,7	3,8	8,1	<0,10	<0,10
25.02.2019	kohout ÚV					7,5	0,27	2,02
27.02.2020	kohout ÚV	0,07				7,4		
09.03.2020	kohout ÚV					7,4	0,05	0,09
12.10.2020	kohout ÚV					7,5	<0,10	<0,20
04.11.2020	kohout ÚV					7,3	<0,10	<0,20

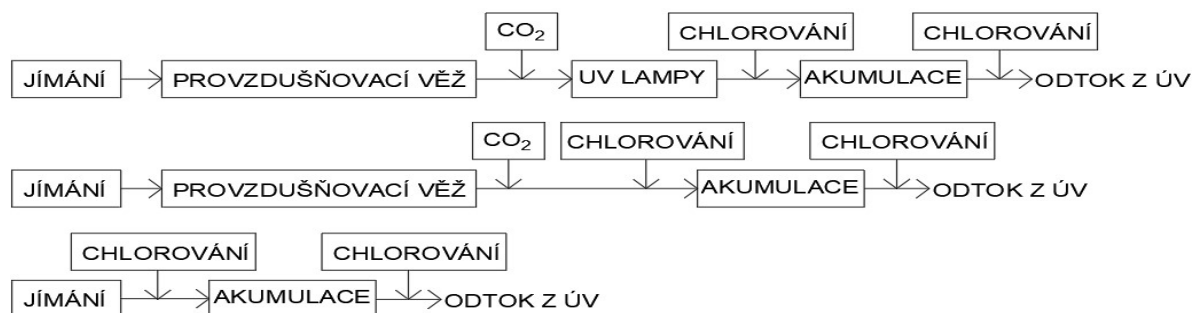
Stejně jako před rekonstrukcí je možné v upravené vodě sledovat velmi vysoký obsah vápníku a s tím související i velká tvrdost vody. S touto tvrdostí se voda řadí do kategorie velmi tvrdá.

Oproti surové vodě má upravená vyšší pH. Zvýšení je způsobeno používáním provzdušňovací věže. Dále upravená voda obsahuje násobně menší koncentrace chlorovaných uhlovodíků, což bylo cíle celé rekonstrukce. Podrobněji budou jednotlivé ukazatele rozebrány v následujících kapitolách.

### 5.3 Úprava vody

Úprava probíhá pomocí provzdušnění ve stripovací věži, UV lampami, nadávkováním oxidu uhličitého a následným chlorováním. Při přípravě projektové dokumentace na úpravně nebylo navrženo dávkování oxidu uhličitého a UV lampy. Tyto dva objekty byly na úpravnu instalovány až v průběhu zkušebního provozu z důvodu nevyhovujících rozborů.

Způsob úpravy je ovlivněn množstvím chlorovaných uhlovodíků v jímané vodě. Dle toho se úprava dělí na přímý a nepřímý přívod vody do akumulací nádrže. Při přívodu přímém je voda z jímacích objektů vedena přímo do akumulace a je pouze dezinfikována plynným chlórem. Nepřímý přívod vede vodu přes stripovací věž, za kterou je dávkován  $\text{CO}_2$ . Dále může být voda vedena přes UV lampy, které z ní odstraní bakterie, cysty a viry pomocí UV záření. Tyto lampy se při úpravě nemusí použít a v tom případě proudí voda směrem do akumulace a je do ní dávkován plynný chlor jako při přímém přítoku. Pro přehlednost možností vedení jímané vody do akumulace je zde přiloženo jednoduché schéma na obrázku níže.



Obr. 5.3 Schéma možných provozních scénářů úpravy vody



Způsob úpravy se liší především podle toho, jestli se v aktuálně jímané podzemní vodě vyskytují chlorované uhlovodíky či nikoliv. Pokud v jímané vodě nejsou zaznamenány, tak je jímaná voda vedena přímým přívodem do akumulace a její úprava spočívá pouze v dezinfekci. Pokud tomu tak není je do provozu zapojena provzdušňovací věž a dá se tedy mluvit o nepřímém přítoku do akumulace.

### 5.3.1 Přímý přívod vody do AN

Na přímém přívodu nedošlo při rekonstrukci ke změně způsobu úpravy vody, byla pouze vyměněna všechna stará potrubí za nová z nerezové oceli. Jedinou úpravou je tedy dávkování chloru z důvodu zajištění hygienických požadavků.

#### UV lampy

Na úpravně byly tyto lampy instalovány především pro jejich budoucí využití z důvodu potencionálně se zhoršující kvality surové vody. Lampy byly na úpravnu instalovány až dodatečně, a proto o nich nejsou informace v projektové dokumentaci.

Konkrétně byly navrženy a instalovány dvě UV Lampy od společnosti DISA s.r.o. typová řada Spektron. Jejich největší výhody jsou nízké tlakové ztráty, nepřetržité sledování intenzity UV záření, teploty UV reaktoru a průtoků vody. Celé zařízení má výkonnou paměť a propracovaný analytický systém pro zpracování dat. [19]



Obr. 5.5 UV lampy, foto vlastní



Obr. 5.4 UV lampa - typová řada Spektron [40]

#### Dávkování chloru

Dávka nasyceného chlorového roztoku závisí na množství vody naměřené na instalovaném vodoměru.

Zařízení, které zde bylo před rekonstrukcí bylo demontováno a místo něj bylo instalováno nové kompletní zařízení. Toto zařízení umožňuje automatickou regulaci dávky chlóru v závislosti na nastavené dávce v řídicím systému a na aktuálním průtoku vody čerpané z vrtů.

V prostorách, kde dříve bývala chlorovna se tedy nyní nacházejí přístroje pro odběr plynného chlóru z tlakových lahví, regulaci dávky chlóru s ovládáním v řídicím systému ÚV, rozpouštění plynného chloru ve vodě, analýzu ovzduší, vzduchotechniku a další potřebné příslušenství uvedené v seznamu strojů a zařízení, který je součástí projektové dokumentace.



Obr. 5.6 Chlorovna, foto vlastní

### 5.3.2 Nepřímý přívod vody do AN (přes provzdušňovací věž)

Při nepřímém přítoku je voda nejprve vedena do provzdušňovací věže. Z té je pak vedena to akumulace. Na potrubí vedoucím ze stripovací věže do akumulace je napojeno potrubí, které zajišťuje dávkování oxidu uhličitého. Poté se odtokové potrubí ze stripovací věže napojuje na nátokové potrubí do akumulace, na kterém je dávkován chlor.

#### *Provzdušňovací věž*

Provzdušňovací věž je využívána pouze v případě, že se v surové vodě z vrtů vyskytuje nadměrné množství chlorovaných uhlovodíků. Pokud tomu tak je, tak je veškerá surová voda vedena přes věž, kde je spolu se snižováním obsahu chlorovaných uhlovodíků i snižováno pH. Voda ve stripovací věži, ale není hygienicky zabezpečena.

Provzdušňovací věž EKOMONITOR SK 160 / 800 je navržena na průtok  $Q_{\max} = 50$  l/s, její celková výška je 14,25 metrů a z toho je 10 metrů výška samotného zařízení. Šířka věže je 1,6 metru a délka 2,5 metru. Zařízení je navrženo z nerezové oceli a je osazeno vedle čerpací stanice. Vzduch je přiváděn dvojicí potrubí o průměru 560 mm. V těchto potrubích je osazen filtr, ventilátor, tlumič hluku, zpětná klapka a na sání je instalována protidešťová žaluzie.

V patě provzdušňovací věže je instalováno vypouštěcí potrubí DN 50, které je osazeno uzavíracím šoupátkem a elektrickým pohonem a je zaústěno do odtokové jímky v armaturní komoře. Dále se zde nachází přepadové potrubí DN 250, které ústí na volný terén. Všechna potrubí, která vedou venkovními prostory jsou opatřena tepelnou izolací a v případě mrazů jsou temperována topným kabelem.

Výškové osazení věže bylo navrženo tak, aby byl zajištěn gravitační odtok z věže do akumulační nádrže. Stabilitu zajišťuje pomocná konstrukce z nerezové oceli, která je umístěna okolo věže a je ukotvena do betonového základu. Věž je ke konstrukci kotvena táhly z nerezové oceli.



Obr. 5.8 Provzdušňovací věž po rekonstrukci, foto vlastní



Obr. 5.7 Provzdušňovací věž po rekonstrukci, foto vlastní



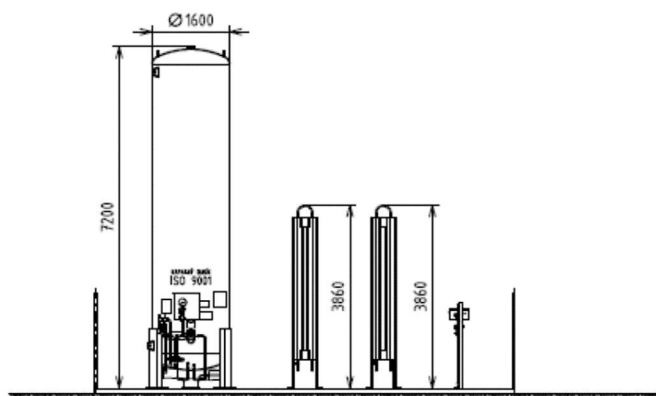
### *Dávkování oxidu uhličitého*

Dávkování oxidu uhličitého bylo navrženo z důvodu, že se po spuštění zkušebního provozu zjistilo, že se v síti vyskytuje velké množství vyluhovaného vápníku. Možností, jak ho ze sítě odstranit je několik a jsou popsány v kapitole 5.5 Navržené způsoby úpravy vody a porovnání s dalšími způsoby.

Na pozemku ÚV byl nainstalován venkovní zásobník tekutého CO<sub>2</sub> s vypařovací stanicí a regulačním kompletem. Plynňý CO<sub>2</sub> je veden do podzemní části ÚV, kde je jím sycena provozní voda, která je zaústěna na dvou místech do přívodního potrubí. Toto dávkování plynňého CO<sub>2</sub> zajišťuje, že na síti nedochází k senzorickým problémům ve formě vysráženého vápníku na vodovodní síti a zajišťuje pH v rozmezí 7,3 – 7,5.

Optimální místo pro dávkování oxidu uhličitého bylo stanoveno z výsledků zkoušek, které jasně prokázaly, že nejvýhodnější je dávkování ihned za stripovací věží při vstupu do objektu. Ze zkoušek byla také stanovena optimální dávka CO<sub>2</sub> na 4-6 m<sup>3</sup>/h při výkonu vrtů 65 m<sup>3</sup>/h a množství sytící vody 6,1 l/s.

Odpařování plynňého CO<sub>2</sub> probíhá ve vzduchových a elektrických odpařovačích, které dodávají kapalině výparné teplo a ohřívají plynňý oxid uhličitý na provozní teplotu. Pro nastavení výstupního tlaku slouží redukční panel. Pro potřeby úpravy byly navrženy tyto panely dva.



Obr. 5.10 Schéma zásobníků na CO<sub>2</sub> [16]



Obr. 5.9 Zásobník na oxid uhličitý, foto

### *UV lampy*

Všechny potřebné informace o UV lampách jsou uvedeny v kapitole 5.3.1 Přímý přívod vody do AN.

### *Dávkování chloru*

Zapnutí chlorátoru je podmíněno zapnutím nebo vypnutím čerpadla ve vrtu. Množství chloru není ovlivněno průchodem přes stripovací věž.

### **5.3.3 Odtok**

Pro odběr z AN slouží dvě potrubí z nerezové oceli o DN 200 na jejímž konci jsou umístěny vtokové koše. Každé potrubí slouží jako sací potrubí pro čerpadla, která vedou vodu do spotřebišť Ohrazenice a Károvsko. Na úpravně se nacházejí 4 čerpadla – dvě pro každé spotřebiště, přičemž vždy jedno slouží jako 100% rezerva.

Na odtokovém potrubí je umístěna v armaturní komoře odbočka pro každé čerpadlo a na ní jsou umístěna uzavírací šoupátka a zpětné klapky poté následuje redukce potrubí na DN 100 a napojení na přírubou čerpadla.

### *Spotřebišť Ohrazenice*

Pro toto spotřebišť jsou instalována dvě stejná vertikální článková odstředivá čerpadla od společnosti GRUNDFOS s charakteristikou  $Q = 91,8 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H = 86,65 \text{ m}$  a motorem o jmenovitém výkonu 30 kW.

### *Spotřebišť Károvska*

Pro toto spotřebišť jsou instalována dvě stejná vertikální článková odstředivá čerpadla od společnosti GRUNDFOS s charakteristikou  $Q = 91,0 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H = 109,4 \text{ m}$  a motorem o jmenovitém výkonu 37 kW.



Obr. 5.12 Čerpadla na ÚV Nudvojovice, foto vlastní



Obr. 5.11 Čerpadla na ÚV Nudvojovice, foto vlastní

## 5.4 Budova úpravny

Budova úpravy vody nebyla nijak přesouvána oproti minulému stavu, stávající umístění objektů tedy vychází z umístění objektů před rekonstrukcí. Z pohledového hlediska je nová budova úpravy z části obložena dřevěným obkladem, vystavěl se zastřešený vstup do vodojemu a také přístupové schodiště.

Hladina při  $Q_{100}$  byla stanovena v místě ÚV Nudvojovice na 246,36 m.n.m. Z toho důvodu byl navržen vstup do 1. NP na výšku 246,8 m.n.m. Při povodních docházelo k zaplavování podzemních podlaží pouze odpadním potrubím, které odvodňuje jímku bezpečnostního přelivu. Proto zde bylo instalováno šoupátko, které je ovládáno dálkově elektropohonem.

Z vnitřních stavebních úprav proběhlo například odbourání a znovu vystavění příček oddělujících místnosti, výměna oken a dveří za plastové s izolačním dvojsklem a bezpečnostní folií zabraňující vniku UV záření, omlácení a následné provedené nové vápenocementové omítky a další úpravy, které jsou podrobně rozepsány v technické zprávě. Při rekonstrukci proběhla sanace akumulací nádrže.



Obr. 5.14 Budova ÚV Nudvojovice po rekonstrukci, foto vlastní



Obr. 5.13 Budova akumulace na ÚV po rekonstrukci, foto vlastní

## 5.5 Navržené způsoby úpravy vody a porovnání s dalšími způsoby

### 5.5.1 Možnosti odstranění chlorovaných uhlovodíků

Můžeme je odstranit jednorázově sanací kontaminované půdy nebo odstraňovat dlouhodobě úpravou nad zemí. Nejvíce rozšířenou a osvědčenou metodou dlouhodobě úpravy je provzdušnění pomocí stripovací věže. Více informací o tomto způsobu úpravy je rozepsáno v kapitole 0

Stejně jako před rekonstrukcí je možné v upravené vodě sledovat velmi vysoký obsah vápníku a s tím související i velká tvrdost vody. S touto tvrdostí se voda řadí do kategorie velmi tvrdá.

Oproti surové vodě má upravená vyšší pH. Zvýšení je způsobeno používáním provzdušňovací věže. Dále upravená voda obsahuje násobně menší koncentrace chlorovaných uhlovodíků, což bylo cíle celé rekonstrukce. Podrobněji budou jednotlivé ukazatele rozebrány v následujících kapitolách.

Úprava vody.

Dále se dá využít mokré sorpce na aktivním uhlí. Kontaminant převedený do plynné fáze je zachycen na aktivním uhlí. To je připravováno z rašeliny nebo dřeva dehydratací ve směsi s P2O5 a následným ohřátím na 500–800 °C. Tento způsob odstraňuje z vody kromě chlorovaných uhlovodíků i ropné látky. Výhodou je, že aktivní uhlí má velké regenerační schopnosti a je tedy možné ho využívat opakovaně. [19]

Při volbě úpravy sanací je možné využít nanoželezo. Při jeho využití jsou z vody odstraňovány nejen chlorované uhlovodíky, ale i pesticidy, odmašťovadla a těžké kovy. Nanoželezo je nutné skladovat, co nejkratší dobu a použít ho ideálně bezprostředně po jeho přípravě. Aplikace spočívá v zásaku nanočástic prostřednictvím malých injektážních vrtů přímo do kontaminované podzemní vody. Při použití nulamocného železa vznikají neoxické reakční produkty, které mohou se dají jednoduše odstranit sedimentací nebo zachycením na čistících jednotkách. [20]

### 5.5.2 Možnosti odstranění vyluhování vápníku

Následující text vychází z poskytnutých poznámek, které vypracoval pan Bc. Ondřej Šimůnek při zkoumání možností odstranění vyluhovaného vápníku na ÚV Nudvojovice.

#### *Změkčení vody – odstranění Ca a Mg*

Při změkčování by se před vstupem do provzdušňovacího zařízení dávala sůl, vznikala by ale odpadní voda, kterou by bylo nutné vypouštět do kanalizace. Množství této vody by bylo přibližně 240 m<sup>3</sup>/den.

Problém při tomto řešení by byl, že úpravna vody není napojena na kanalizaci a také, že čerpací šachta v Nudvojovicích zvládne pojmout pouze 60 m<sup>3</sup>/den. Byla by tedy nutná rekonstrukce celé sítě, což by značně zvýšilo náklady na tento způsob úpravy. Další komplikací by bylo, že na ÚV není prostor určený pro uskladnění soli, nabízela by se zde varianta přemístění skladu chloru a sůl uskladnit tam. Zároveň by bylo nutné zaměstnat obsluhu, která by dávala sůl, což by zabralo přibližně dvě hodiny každý den.

Z výše uvedených důvodů vyplývá, že tento způsob úpravy by byl značně nákladný a nevýhodný. Bylo by nutné realizovat splaškovou kanalizaci, filtraci a iontoměnič.

#### *Reverzní osmóza – odstranění Ca a Mg*

Pomocí membránových filtrů se z vody odstraní všechny minerály (demineralizace vody). Zároveň je nutné, aby se na filtrech neusazoval vodní kámen. Toho se dá docílit dávkováním chemikálií, a to ještě

před membránou. Takto by se demineralizovala pouze část vody, tak aby se po naředění neupravenou vodou dosáhlo potřebné tvrdosti.

Při této úpravě je přibližně 30 % vody, voda odpadní a je nutné vyřešit, jak by s ní bylo zacházeno. Vzhledem k tomu, že se jedná o lehce zakalenou vodu s minerály, tak se nabízí možnost projednat situaci s povodím řeky Jizery a příslušným odborem životního prostředí a zvážit vypouštění této vody přímo do řeky Jizery. Díky tomuto kroku by nebylo nutné budovat kanalizaci a tím by se stala tato metoda ekonomicky méně náročnou než změkčování vody. Tato metoda je automatizována a obsluha má na starost pouze doplňování chemikálie.

Membrány mají životnost přibližně 3-5 let a vykazují menší poruchovost při stálém provozu. Jejich výhodou je, že odstraňují TCE<sup>12</sup> a PCE<sup>13</sup>. Tato metoda se jeví výhodněji než předchozí, a to jak z provozního, tak z ekonomického hlediska.

#### *Stabilizování vody za věží*

Za provzdušňovací věží by se do vody dávkovala kyselina a tím se snižovalo pH na požadovanou hodnotu. Největší nevýhodou a rizikem této varianty je problematika kyselinového hospodářství a riziko při havárii a úniku kyseliny do řeky. Dále kyselina způsobuje korozi potrubí v místě dávkování.

Předpokládané potřebné množství kyseliny při výkonu 30 l/s je 250 litrů denně. Pro měsíční potřeby by musela být navržena minimálně 8 m<sup>3</sup> nádrž.

#### *Tlakové filtry s aktivním uhlím*

Tlakové filtry odstraňují nerozpustné látky i nežádoucí rozpuštěné látky z vody. Filtr může být naplněn vhodnou kombinací filtračních materiálů. Na této úpravně by bylo nutné instalovat 4 filtry o průměru 2,5 metru a výšce 2 metry. Cena těchto filtrů je kolem 600 tisíc korun za jeden.

Při této technologii by se nedala dále používat nová provzdušňovací věž, z toho důvodu by bylo nevhodné volit tento způsob úpravy.

#### *Dávkování CO<sub>2</sub> zpět do provzdušňované vody za věží*

Tato metoda byla nakonec zvolena pro tuto úpravu vody v zájmové úpravně. Jedná se o známou a ověřenou technologii. Byl zde osazen zásobník na CO<sub>2</sub> a proběhly pokusy, které vyhodnocovaly různá místa dávkování CO<sub>2</sub>. Nejvýhodnějším místem bylo nakonec stanoveno místo v budově úpravny vody, které leží, co nejbližší k provzdušňovací věži.

Tato varianta je provozně relativně drahá, ale při jejím využití je možné dále používat i ostatní již instalované technologie na ÚV Nudvojovice.

## 6 POROVNÁNÍ PŘED A PO REKONSTRUKCI

### 6.1 Hlavní parametry

V následující tabulce je uvedeno porovnání hlavních parametrů úpravny vody Nudvojovice.

---

<sup>12</sup> TCE-trichloreten

<sup>13</sup> PCE-

Tabulka 6.1 Porovnání hlavních parametrů na úpravně vody před rekonstrukcí a po ní

parametr	jednotka	před rekonstrukcí	po rekonstrukci
Kapacita ÚV	l/s	40	50
množství upravené vody	m <sup>3</sup> /rok	150 000	900 000
počet zásobovaných obyvatel	obyv.	14 236	14 420
počet využívaných vrtů	ks	6	4

Již z předchozích kapitol vyplynulo, že byla navýšena kapacita ÚV a to ze 40 na 50 l/s a s tím souvisí i zvýšení množství upravované vody. Taktéž se tím zvýšila intenzita provzdušňování a díky tomu došlo k vyšší účinnosti odstraňování chlorovaných uhlovodíků. Za dobu rekonstrukce nepatrně vzrostl počet obyvatel v zásobované lokalitě. Což byl očekávaný jev, vzhledem k tomu, že turnovsko se dlouhodobě umísťuje na vrchních příčkách žebříčku kvality života v českých městech i v dalších průzkumech. Další podstatnou změnou je, že se po rekonstrukci využívají pouze 4 vrty z původních 6. Důvodem této změny bylo, že dva vrty umístěné nejbližší k řece Jizeře měli dlouhodobě horší jakost jímané vody než ostatní, z tohoto důvodu byly odstaveny z provozu a zakonzervovány.

## 6.2 Jímací objekty

Největší změnou u jímacích objektů bylo, že dva vrty (TN-1 a TN-2) byly odstaveny z provozu a zakonzervovány. U ostatních vrtů se parametry změnily dle uvedených údajů v tabulce.

Tabulka 6.2 Kapacita jednotlivých vrtů

Vrt	Jednotka množství	kapacita před realizací	navržená kapacita	Skutečnost po realizaci projektu
VRT T-2	l/s	10,5	12,0	15,0
VRT T-4	l/s	15,5	18,5	30,0
VRT T-5	l/s	18,6	21,7	20,0
VRT L-5	l/s	17,2	22,6	12,0

## 6.3 Jakost vody

V následujících kapitolách jsou porovnané problematické ukazatele před rekonstrukcí a po rekonstrukci při zkušebním provozu.

### 6.3.1 Železo

Hodnoty železa v surové a pitné vodě před rekonstrukcí a při zkušebním provozu jsou uvedeny v následující tabulce.

Na upravené vodě před rekonstrukcí jsou zjevné výkyvy koncentrací na pitné vodě oproti vodě surové. Klesání koncentrace železa po úpravě je způsobeno provzdušňováním. Stoupání může být způsobeno více faktory. První možností je že se vzorky odebrali na vrtech a následně se železo dostalo do vody z důvodu koroze potrubí, tím se koncentrace železa zvýšila a na odtoku z ÚV byly měřeny vyšší hodnoty než u surové vody. Další možností je, že při odběru vzorků nebyla stripovací věž v provozu. To by vysvětlilo především nulový pokles koncentrace železa v pitné vodě oproti vodě surové. A v neposlední řadě to mohlo být způsobeno tím, že na úpravně je akumulace, za kterou se odebírají vzorky. Takže pokud se v jeden den chvíli po sobě odebrali vzorky z vrtu a následně vzorky za akumulací, tak se

nemusí jednat o vodu z jednoho vrtu a mohou tím být způsobeny tyto výkyvy hodnot. Samozřejmě svou roli mohli sehrát i chybné odběry vzorků a nepřesnosti přístrojů.

Při zkušebním provozu byly naměřeny minimální možné koncentrace železa již na surové vodě a dá se předpokládat, že díky provzdušnění v provzdušňovací věži se koncentrace po úpravě ještě snížily. Přesnost přístrojů, ale nedovoluje toto tvrzení ověřit. Pouze v jednom případě došlo k naměření jiných než minimálních měřitelných hodnot a to 27.2.2020, kdy byla naměřena koncentrace železa 0,07 mg/l. Po úpravě hodnota klesla na 0,06 mg/l. Toto měření potvrzuje úvahu, že i v ostatních případech koncentrace železa po úpravě klesly oproti surové vodě.

Uvedená průměrná data ukazují, že hodnoty koncentrací železa v surové vodě se před rekonstrukcí byly vyšší než po rekonstrukci. To bylo pravděpodobně způsobeno starým, korodujícím ocelovým potrubím. Vyšší koncentrace se vyskytovali především v průměrných hodnotách z období do roku 2013. Od té doby se hodnoty pohybovali okolo 0,05 mg/l, což je nejmenší hodnota, kterou jsou přístroje schopné zaznamenat.

Co se týká pitné vody, tak po celou dobu koncentrace železa vyhovují vyhlášce 252/2004 Sb., kde je mezní hodnota stanovena na 0,2 mg/l.

Tabulka 6.3 porovnání průměrných hodnot rozborů železa za roky 2004 - 2018 a ve zkušebním provozu

před rekonstrukcí			zkušební provoz			
rok odběru	Fe		datum odběru	zdroj	Fe	
	mg/l				mg/l	
Limity dle vyhlášky 252/2004 Sb.	0,2 MH				0,2 MH	
	surová	pitná			surová	pitná
2004	0,079	0,085	25.10.2018	T4	<0,05	<0,05
2005	0,059	0,065	06.02.2019	T2+T4	<0,05	<0,05
2006	0,059	0,062	11.02.2019	T5+T4	<0,05	<0,05
2007	0,059	0,112	13.02.2019	L5+T4	<0,05	<0,05
2008	0,059	0,085	18.02.2019	L5+T5+T2	<0,05	<0,05
2009	0,083	0,072	25.02.2019	L5+T4		
2010	0,062	0,067	27.02.2020	T4	0,07	0,06
2011	0,073	0,063				
2012	0,120	0,059				
2013	0,106	0,061				
2014	0,049	0,075				
2015	0,049	0,055				
2016	0,086	0,081				
2017	0,050	0,121				
2018	0,049	0,073				

### 6.3.2 Vápník, Hořčík a tvrdost vody

Tyto tři parametry byly dlouhodobě problematické a z toho důvodu budou probrány samostatně před rekonstrukcí a po rekonstrukci. Vzhledem k tomu, že na sebe vzájemně navazují, tak se budou řešit společně.



### Hodnoty před rekonstrukcí

Následující tabulka popisuje průměrné koncentrace vápníku a hořčíku a tvrdost vody před rekonstrukcí.

Tabulka 6.4 Průměrné koncentrace vápníku, hořčíku a tvrdosti vody v letech 2004-2018

rok odběru	Ca		Mg		Ca+Mg	
	mg/l		mg/l		mmol/l	
<b>Limity dle vyhlášky 252/2004 Sb.</b>	30 (40-80)		10 (20-30)		2-3,5	
	surová	pitná	surová	pitná	surová	pitná
<b>2004</b>	137	133	8,8	11	3,78	3,8
<b>2005</b>	131	136	9,1	10	3,65	3,8
<b>2006</b>	135	140	9,1	11	3,74	3,9
<b>2007</b>	135	143	8,6	10	3,73	4,0
<b>2008</b>	136	143	10,4	11	3,76	3,8
<b>2009</b>	128	128	10,1	8	3,61	3,5
<b>2010</b>	129	136	9,8	9	3,61	3,8
<b>2011</b>	134	132	8,9	8	3,70	3,6
<b>2012</b>	134	131	9,7	9	3,74	3,6
<b>2013</b>	121	132	9,8	10	3,41	3,7
<b>2014</b>	139	137	9,0	11	3,84	3,8
<b>2015</b>	154	143	9,7	11	4,23	4,0
<b>2016</b>	137	139	9,4	10	3,81	3,9
<b>2017</b>	128	131	9,5	10	3,59	3,7
<b>2018</b>	136	131	10,3	9	3,82	3,6

Před rekonstrukcí se v pozorovaných letech na ÚV Nudvojovice vyskytovalo nadměrné množství vápníku, jehož hodnoty se trvale pohybovaly okolo 135 mg/l. Přičemž doporučené hodnoty se pohybují mezi 40 a 80 mg/l.

Naopak hodnoty hořčíku v neupravené vodě se pohybovali pod mezní hodnotou, je zjevné že úpravou vody bylo docíleno, že voda vyhověla požadavku ve většině let. Důvodů, jak se mohla zvýšit koncentrace hořčíku, když do vody nebyl žádným způsobem dávkován může být více. Nejpravděpodobnější je, že stejně jako u železa mohli vzorky odebrat na vrtech a následně za akumulací. Pokud by se vzorky odebírali v krátkém časovém rozmezí za sebou, tak je možné že v akumulaci byla voda z jiného vrtu, než u kterého se dělal rozbor. Dále je potřeba brát ohled i na možné chybně podebrané vzorky a nepřesnosti přístrojů. Na koncentrace hořčíku nevyhovovala pitná voda pouze v letech 2009-2012 a v roce 2018.

V posledním sloupci jsou uvedeny hodnoty tvrdosti surové a pitné vody. Optimální tvrdost dle vyhlášky 252/2004 Sb. je 2-3,5 což splňuje pouze surová voda v roce 2013, ta by se dala označit za tvrdou. Všechny ostatní vzorky jsou v kategorii velmi tvrdá voda. Dále se dá z tabulky vyčíst, že u poloviny let se úpravou průměrná hodnota pH zvýšila a u druhé poloviny snížila. Tento jev je pravděpodobně způsoben tím, že pH bylo zvyšováno při průtoku provzdušňovací věží a ta byla spouštěna pouze v době,

kdy se ve vodě vyskytovali chlorované uhlovodíky. Celá tabulka s rozdělením podle tvrdosti je uvedena v kapitole 2.6 Jakost vody.

#### *Hodnoty v průběhu zkušebního provozu*

Následující tabulka popisuje průměrné koncentrace vápníku a hořčíku a tvrdost vody po rekonstrukci.

*Tabulka 6.5 Průměrné koncentrace vápníku, hořčíku a tvrdosti vody po rekonstrukci*

datum odběru	zdroj	Ca		Mg		Ca+Mg	
		mg/l		mg/l		mmol/l	
<b>Limity dle vyhlášky 252/2004 Sb.</b>		30 (40-80) MH (DH)		10 (20-30) MH (DH)		2-3,5 DH	
		surová	pitná	surová	pitná	surová	pitná
25.10.2018	T4	144	-	11,7	-	4,07	-
06.02.2019	T2 + T4	132	132	10,8	10,8	3,74	3,74
11.02.2019	T5 + T4	133	133	10,8	10,7	3,76	3,76
13.02.2019	L5 + T4	137	136	10,9	10,9	3,87	3,84
18.02.2019	L5 + T5 + T2	140	133	11,9	11,7	3,98	3,8

Při zkušebním provozu se koncentrace vápníku stále pohybovaly nad doporučenými hodnotami, a to jak v surové, tak i v pitní vodě. Hořčík se v surové i pitné vodě dostal nad hranici mezní hodnoty, ale nedosáhl doporučených hodnot daných vyhláškou. Celková tvrdost se úpravou příliš neměnila. Dané odchylky mohou být způsobeny nepřesností přístrojů a měřením v rozdílných časech.

#### *Porovnání hodnot*

Při porovnání hodnot vápníku před rekonstrukcí a po ní nebyly nalezeny výrazné rozdíly mezi surovou ani pitnou vodou. V dané oblasti je vápencové podloží a z toho důvodu se nadměrné množství vápníku ve vodě bude dlouhodobě vyskytovat. Po rekonstrukci již hořčík vyhověl ve všech více uvedených měřeních. Důvodem může být sanace vrtů. Tvrdost surové i pitné vody zůstala i nadále v kategorii velmi vysoká. Rozdíly před rekonstrukcí a po ní nejsou v tomto ohledu znatelné.

### **6.3.3 Hodnoty pH**

Dalším sledovaným parametrem bylo pH. Jeho porovnání v surové a pitné vodě před rekonstrukcí i po ní je uvedeno v následující tabulce.

Před rekonstrukcí docházelo při úpravě k zvýšení hodnoty pH o přibližně 0,1. Toto zvyšování bylo způsobeno používáním stripovací věže, kde při provzdušnění dochází právě k zvýšení pH. Dlouhodobě se hodnota pH surové vody pohybovala okolo 7 a u pitné vody to byla hodnota 7,2.

Po rekonstrukci zůstaly hodnoty surové vody stejné jako před ní a vycházeli okolo hodnoty 7. U vody upravené, ale docházelo k mnohem většímu zvyšování pH než před rekonstrukcí. Tento jev byl způsoben zvýšením kapacity provzdušňovací věže, tím že se zvýšila kapacita provzdušňování se zároveň i zvýšilo pH. V roce 2019 docházelo k větším výkyvům než v roce 2020. Je to způsobeno tím, že se v říjnu 2019 instalovalo na úpravnu dodatečné dávkování CO<sub>2</sub>, a to způsobuje snižování pH.



Tabulka 6.6 Průměrné hodnoty pH před rekonstrukcí a ve zkušební provozu

před rekonstrukcí			zkušební provoz			
rok odběru	pH		datum odběru	zdroj	pH	
					-	
Limity dle vyhlášky 252/2004 Sb.	6,5-9,5				6,5-9,5	
	surová	pitná			surová	pitná
2004	7,1	7,2	25.10.2018	T4	7,0	-
2005	7,1	7,1	06.02.2019	T2 + T4	7,0	8,1
2006	7,0	7,3	11.02.2019	T5 + T4	7,0	7,3
2007	7,1	7,2	13.02.2019	L5 + T4	7,0	8,1
2008	7,1	7,2	18.02.2019	L5 + T5 + T2	7,0	8,1
2009	7,1	7,2	25.02.2019	L5 + T4	7,0	7,5
2010	7,1	7,1	27.02.2020	T4+?	7,1	7,4
2011	7,1	7,2	09.03.2020	T4+?	7,1	7,4
2012	7,0	7,1	12.10.2020	T4+?	7,0	7,5
2013	7,0	7,1	04.11.2020	T4+?	6,8	7,3
2014	7,0	7,2				
2015	7,0	7,2				
2016	7,0	7,2				
2017	7,0	7,1				
2018	7,0	7,2				

#### 6.3.4 Chlorované uhlovodíky

Chlorované uhlovodíky jsou dalším ze sledovaných faktorů. Níže uvedená tabulka udává hodnoty koncentrací v surové i pitné vodě před a po rekonstrukci.

##### TCE 1,1,2

Hodnoty TCE 1,1,2 se pohybovaly před rekonstrukcí v koncentracích do 1,5 µg/l. Toto množství není pro člověka toxické a vyhovuje požadavkům ve vyhlášce 252/2004 Sb., i přesto je vhodné snižovat tato množství, protože při dlouhodobém působení chlorovaných uhlovodíků na lidské tělo může docházet k zdravotním potížím.

Koncentrace na pitné vodě před rekonstrukcí byly kolísavé v závislosti na používání provzdušňovací věže. Dalším faktorem výkyvů vzorků bylo, že se chlorované uhlovodíky nachází v podzemní vodě jen nárazově a v rozdílném množství. V neposlední řadě je nutné do úvah zahrnout i chyby měření a časové prodlevy mezi odběry vzorků.

Po rekonstrukci se koncentrace vyskytovaly v podobných hodnotách jako před rekonstrukcí. Díky navýšení kapacity provzdušňovací věže bylo docíleno lepšího odstranění TCE 1,1,2 z upravované vody a tím i větší kvality vody pitné. V pěti případech bylo docíleno odstranění z vody tak výrazné, že se koncentrace TCE 1,1,2 v pitné vodě pohybovala pod hodnotou měřitelnou přístrojem.

##### PCE 1,1,2,2

Před rekonstrukcí se v surové vodě vyskytoval PCE 1,1,2,2 o různé koncentraci od 2,3 do 9,9 µg/l. Nejvyšší mezní hodnotou pro pitnou vodu je dle vyhlášky 252/2004 Sb. koncentrace 10 µg/l. Vzhledem k tomu, že se v některých letech koncentrace blížili k této hranici, bylo nutné zajistit i do budoucna dostatečnou úpravu pro zajištění pitné vody a rekonstruovat celou úpravnu vody s cílem

dlouhodobého odstraňování chlorovaných uhlovodíků. Z uvedené tabulky lze mimo jiné vyčíst, že některé roky měření na surové vodě neprobíhalo.

Pomocí provzdušnění ve stripovací věži bylo docíleno snížení koncentrace PCE 1,1,2,2 v pitné vodě ve všech letech kromě roku 2008, kde se dá tento nárůst uvažovat jako chyba měřících přístrojů v kombinaci s rozdílným časem odběru vzorků. Všechny roky tedy pitná voda vyhovovala zmíněné vyhlášce.

Po rekonstrukci byl stav na surové vodě stejný jako před ní – vyskytovaly se výkyvy v koncentraci chlorovaných uhlovodíků. Na pitné vodě je znát rozdíl v množství PCE 1,1,2,2 které se úpravou dokázalo odstranit. Naměřené hodnoty se ve čtyřech případech dostaly pod měřitelnost přístrojů. Před rekonstrukcí se dokázalo odstranit největší množství v roce 2015 a ti 2,6 µg/l a po rekonstrukci se povedlo 25.10.2018 z koncentrace 8,48 µg/l docílit nižších hodnot, než jaké zvládne zaznamenat přístroj.

Tabulka 6.7 Průměrné hodnoty chlorovaných uhlovodíků

před rekonstrukcí					zkušební provoz					
rok odběru	TCE 1,1,2		PCE 1,1,2,2		datum odběru	zdroj	TCE 1,1,2		PCE 1,1,2,2	
	µg/l		µg/l				µg/l		µg/l	
Limity dle vyhlášky 252/2004 Sb.	10 NMH		10 NMH				10 NMH		10 NMH	
	surová	pitná	surová	pitná			surová	pitná	surová	pitná
2004	1,4	1,7	9,9	8,0	25.10.2018	T4	<1,00	-	1,8	-
2005	0,6	1,0	8,5	8,0	06.02.2019	T2 + T4	0,98	<0,10	8,48	<0,10
2006	0,3	0,7	8,4	7,6	11.02.2019	T5 + T4	0,7	0,59	4,26	3,13
2007	0,3	0,1	6,6	4,6	13.02.2019	L5 + T4	0,78	<0,10	6,8	0,1
2008	0,2	1,7	2,3	2,8	18.02.2019	L5 + T5 + T2	0,95	<0,10	7,99	<0,10
2009	0,2	0,3	5,5	2,6	25.02.2019	L5 + T4	0,74	0,27	6,35	2,02
2010	-	0,1	-	2,1	27.02.2020	T4+?	0	0	0	0
2011	-	0,3	-	4,5	09.03.2020	T4+?	0,8	0,05	5,56	0,09
2012	-	0,5	-	2,9	12.10.2020	T4+?	0,54	<0,10	5,76	<0,20
2013	-	0,5	-	3,3	04.11.2020	T4+?	0,47	<0,10	6,19	<0,20
2014	-	0,1	-	4,5						
2015	0,2	0,4	5,3	2,7						
2016	-	0,5	-	3,6						
2017	-	0,6	-	4,2						
2018	0,6	0,3	2,7	2,5						

## 7 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo popsat úpravnu vody v Nudvojovicích před rekonstrukcí a po ní. Dále také vyhodnotit celkový stav dané úpravně se zaměřením na rozdíly před a po rekonstrukci. Úpravna vody Nudvojovice i před rekonstrukcí dlouhodobě vyhovovala na všechny požadavky jakosti pitné vody, které jsou dané zákonem č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a jeho vyhláškou 252/2004 Sb., ve které jsou stanoveny všechny hygienické požadavky na pitnou vodu. Cílem rekonstrukce bylo vyměnit technologické vybavení, které bylo na konci své životnosti a také zlepšit kvalitu pitné vody, a to především zvýšením efektivity odstraňování chlorovaných uhlovodíků ze surové vody. Dalším cílem bylo provést sanaci vrtů a upravit jejich nadzemní část tak, aby bylo dosaženo maximální ochrany před povodněmi. V neposlední řadě byla navýšena kapacita úpravně vody s ohledem na vydatnost vrtů a odstavení z provozu dvou nejméně vyhovujících vrtů.

V této bakalářské práci je popsán stav na úpravně před a po rekonstrukci zaměřený na jímání, dopravu, úpravu a jakost vody. Součástí je i celkové porovnání zaměřené především na jakost surové a pitné vody a také na problematiku ukazatele na úpravně.

V práci jsou postupně popsány a porovnány vybrané ukazatele jakosti vody. Oproti stavu před rekonstrukcí jsou hodnoty po rekonstrukci příznivější, a to především u chlorovaných uhlovodíků, které jsou po rekonstrukci v některých případech i pod hodnotami zaznamenanými pomocí přístrojů. Toto snížení bylo jedním z hlavních cílů celé rekonstrukce. K lepším výsledkům napomohla i skutečnost, že dva vrty s nejméně vyhovující jakostí vody, byly odstaveny z provozu a zakonzervovány. U ostatních vrtů byla provedena sanace a celková výměna technického i technologického vybavení. Zároveň bylo provedeno zvýšení zhlaví vrtů nad úroveň stoleté vody, čímž byl splněn další cíl rekonstrukce, aby byla zajištěna bezpečná dodávka pitné vody i při případných povodních. Dále bylo potřeba zvýšit množství upravované vody. Navržená kapacita v projektech byla 50 l/s a ta se také ověřila při zkušebním provozu. Tento cíl byl tedy také splněn, a to především díky sanaci vrtů a celkové výměně trubního a technologického vybavení na trase od vrtů i na úpravně vody.

Při zkušebním provozu zjištěno, že se ve vodovodní síti začalo uvolňovat nadměrné množství vápníku a způsobuje komplikace u spotřebitelů. Z tohoto důvodu byl zkušební provoz prodloužen a dodatečně bylo instalováno dávkování oxidu uhličitého, které zajistilo výrazné zlepšení situace. V budoucnu při použití kvalitních materiálů vodovodní sítě zajistí instalace nových UV lamp hygienickou nezávadnost vody bez nutnosti chemické úpravy vody.

Z této bakalářské práce si odnáším neocenitelnou zkušenost, že i dlouhodobě připravovaný a dobře zpracovaný projekt může být konfrontován s nečekanými skutečnostmi až při jeho realizaci. Např. horší stav jednotlivých vrtů byl zjištěn až při provádění plánovaných prací. Následně bylo nutné hledat vhodné řešení. Proto bych za sebe doporučila věnovat větší pozornost průzkumným pracím a přípravě celého projektu.

Řádné a pečlivé zaznamenávání okolností při odběru vzorků výrazně napomáhá jejich kvalitnímu vyhodnocení, a především monitorování kvality vody na úpravně i v celé vodovodní síti. Bez informací, odkud je voda jímána nebo jakým způsobem byla upravována jsou data nekompletní a je velice komplikované z nich utvářet závěry o efektivitě úpravy a jakosti vody. Dále bych chtěla poukázat na možnost využití poznatků o způsobech úpravy vody v dané lokalitě a zkušeností s provozními problémy. Ty se dají využít při výstavbě či rekonstrukci dalších vodárenských objektů. Především bych při případné výstavbě další úpravně vody doporučila zvážit využití uhlíkových filtrů k odstranění chlorovaných uhlovodíků namísto tradičně využívané provzdušňovací věže. Ta se v dané lokalitě váže

ke komplikacím s uvolňováním vápníku na síti a je nutné instalovat zařízení dávkující  $\text{CO}_2$ . Kombinace těchto dvou zařízení je ekonomicky velmi nákladná a bylo by vhodné ji ekonomicky porovnat s jinými variantami, jako je právě zmiňovaný uhlíkový filtr.

Celkově se dá zhodnotit, že rekonstrukce ÚV Nudvojovice splnila všechny své cíle a dá se považovat za úspěšnou. Díky rekonstrukci se jakost vody zvýšila, kromě toho je větší i kapacita úpravny, a tak je možné dále rozšiřovat zástavbu v obou spotřebištích. A v neposlední řadě jsou všechny objekty chráněny před stoletou vodou. Lokality Ohrazenice a Károvsko mají zajištěný dostatečný a kvalitní zdroj pitné vody i do budoucích let.

## CITOVANÁ LITERATURA

- [1] PODHORSKÝ, Jiří. *Jímání a úprava vody*. Brno: Státní nakladatelství technické literatury, 1963.
- [2] TUHOVČÁK, Ladislav, Tomáš KUČERA, Pavel ADLER a Jaroslav RACLAVSKÝ. *Vodárenství: Úprava vody*. Brno: Vysoké učení technické, fakulta stavební, 2006.
- [3] SUKOVITÝ, Augustin, Petr VIŠŇOVSKÝ a kolektiv. *Vodárenství II*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1971.
- [4] ROTH, Jaroslav. *Vodárenství IV*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1962.
- [5] *Mapy.cz* [online]. [cit. 2021-2-16]. Dostupné z: <https://www.mapy.cz>
- [6] *Wikipedia - město Turnov* [online]. [cit. 2021-2-16]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Turnov>
- [7] TESAŘÍK, Igor. *Vodárenství*. 1985: SNTL - nakladatelství technické literatury, 1985.
- [8] STRNAD, Ondřej. *VŠCHT. VŠCHT* [online]. 2015 [cit. 2021-2-23]. Dostupné z: [https://web.vscht.cz/~strnadon/UPRAVAVODY/Pitn%C3%A1\\_voda\\_%C3%9AV.pdf](https://web.vscht.cz/~strnadon/UPRAVAVODY/Pitn%C3%A1_voda_%C3%9AV.pdf)
- [9] MICHÁLKOVÁ, Jana. SEVEROČESKÉ VODOVODY A KANALIZACE A.S. *Posudek státního zdravotního ústavu: č.j 9310-193/15/Mi*. Liberec, 2017.
- [10] *PRVK: liberecký kraj* [online]. [cit. 2021-3-13]. Dostupné z: [https://prvk.kraj-lbc.cz/mapserv/prvkuk/karty\\_obci/pdf/CZ051\\_0200\\_01.pdf](https://prvk.kraj-lbc.cz/mapserv/prvkuk/karty_obci/pdf/CZ051_0200_01.pdf)
- [11] *Turnovsko v akci: PADESÁTIMILIONOVÁ INVESTICE V NUDVOJOVICÍCH ZLEPŠÍ KVALITU VODY V TURNOVĚ* [online]. 2017 [cit. 2021-3-13]. Dostupné z: <https://www.turnovskovakci.cz/zapisnik-vse/padesatimilionova-investice-nudvojovicich-zlepsi-kvalitu-vody-turnove/>
- [12] *Turnovsko v akci: TURNOV MÁ DVA PLNOHODNOTNÉ ZDROJE PITNÉ VODY* [online]. 2019 [cit. 2021-3-13]. Dostupné z: <https://www.turnovskovakci.cz/zapisnik-vse/padesatimilionova-investice-nudvojovicich-zlepsi-kvalitu-vody-turnove/>
- [13] FOREJTEK, Jiří a Martin HERMAN. *Projektová dokumentace: Intenzifikace úpravny vody v Nudvojovicích*. 2016.
- [14] *Krajská hygienická stanice jihomoravského kraje* [online]. 2015 [cit. 2021-3-21]. Dostupné z: <https://www.khsjih.cz/soubory/povodne/pitna-voda-navod.pdf>
- [15] ŠAŠEK, Jaroslav. *Státní zdravotní ústav* [online]. Praha, 2013 [cit. 2021-3-14]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/vlastnosti-a-zdroje-vody/9697-pouziti-uv-zareni-pro-dezinfekci-pitne-vody>
- [16] *DISA* [online]. 2021 [cit. 2021-3-31]. Dostupné z: <https://www.disa.cz/>

- [17] Reef [online]. 2011 [cit. 2021-3-26]. Dostupné z:  
<https://www.reef2reef.com/threads/different-ro-degasier-design.348932/>
- [18] Vodashervis: úprava vody, výroba vodárenských technologií [online]. 2020 [cit. 2021-3-27]. Dostupné z: <https://www.vodashervis.cz/provzdusnovaci-vez-pv>
- [19] Fakulta stavební ČVUT: předmět RLVP07 [online]. [cit. 2021-3-31]. Dostupné z:  
<http://storm.fsv.cvut.cz/data/files/p%C5%99edm%C4%9Bty/RLVP/RLVP07.pdf>
- [20] Nanoiron [online]. 2021 [cit. 2021-3-31]. Dostupné z: <http://nanoiron.cz/cz/>
- [21] KRIŠ, Jozef. *Vodárenstvo I: zásobovanie vodou*. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2006. ISBN 80-227-2426-2.
- [22] BARUTH, Edward E. *Water treatment plant design*. 4th ed. New York: McGraw-Hill, c2005. ISBN 0-07-141872-5.
- [23] *Water treatment handbook*. 7th [English] ed. Rueil-Malmaison, France: Degremont, 2007. ISBN 978-2-7430-0970-0.
- [24] BARUTH, Edward E. *Water treatment plant design*. 4th ed. New York: McGraw-Hill, c2005. ISBN 0-07-141872-5.
- [25] *Water treatment handbook*. 7th [English] ed. Rueil-Malmaison, France: Degremont, 2007. ISBN 978-2-7430-0970-0.
- [26] *Water quality and treatment: a handbook of community water supplies*. 4th ed. New York: McGraw-Hill, c1990. ISBN 00-700-1540-6.

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 2.1 Kategorie ukazatelů kvality pitné vody [8] .....	19
Tabulka 2.2 vybrané ukazatele kvality pitné vody [2], [8] .....	20
Tabulka 2.3 Meze tvrdosti vody [2] .....	21
Tabulka 4.1 Rozbory surové vody problematických ukazatelů-průměry v jednotlivých letech 2004-2018 .....	27
Tabulka 4.2 Výsledky rozborů koncentrace železa v surové vodě v roce 2017 a jejich vyhodnocení... ..	28
Tabulka 4.3 Rozbory problematických ukazatelů na odtoku u úpravny vody-průměry v jednotlivých letech 2004-2018 .....	29
Tabulka 5.1 výkonnostní kombinace .....	32
Tabulka 5.2 Hodnoty zájmových ukazatelů surové vody při zkušebním provozu .....	36
Tabulka 5.3 Hodnoty zájmových ukazatelů pitné vody při zkušebním provozu .....	37
Tabulka 6.1 Porovnání hlavních parametrů na úpravně vody před rekonstrukcí a po ní .....	44
Tabulka 6.2 Kapacita jednotlivých vrtů .....	44
Tabulka 6.3 porovnání průměrných hodnot rozborů železa za roky 2004 - 2018 a ve zkušebním provozu .....	45
Tabulka 6.4 Průměrné koncentrace vápníku, hořčíku a tvrdosti vody v letech 2004-2018 .....	46
Tabulka 6.5 Průměrné koncentrace vápníku, hořčíku a tvrdosti vody po rekonstrukci .....	47
Tabulka 6.6 Průměrné hodnoty pH před rekonstrukcí a ve zkušebním provozu .....	48
Tabulka 6.7 Průměrné hodnoty chlorovaných uhlovodíků .....	49

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1 Blokové schéma jednostupňové úpravně bez separačního stupně [2].....	10
Obr. 2.2 Blokové schéma úpravně vody s jednostupňovou separací [2] .....	11
Obr. 2.3 Blokové schéma úpravně vody s dvoustupňovou separací [2] .....	11
Obr. 2.4 Blokové schéma úpravně vody s vícestupňovou úpravou [2] .....	12
Obr. 2.5 Provozdušňovací věž [18] .....	13
Obr. 2.6 Schéma provozdušňovací věže [17] .....	13
Obr. 3.1 Mapa města Turnov [5] .....	23
Obr. 3.2 Mapa vodojemů v zájmovém území [5] .....	24
Obr. 4.1 Vrt T5 před rekonstrukcí, foto Bc. Ondřej Šimůnek .....	26
Obr. 4.2 Vrt T2 před rekonstrukcí, foto Bc. Ondřej Šimůnek .....	26
Obr. 4.3 Výpust z ÚV, foto Bc. Ondřej Šimůnek .....	26
Obr. 4.4 Přívodní potrubí z vrtů, foto Bc. Ondřej Šimůnek .....	26
Obr. 4.5 ÚV Nudvojovice s provozdušňovací věží před rekonstrukcí, foto Bc. Ondřej Šimůnek .....	30
Obr. 4.6 Demontáž provozdušňovací věže, foto Bc. Ondřej Šimůnek.....	30
Obr. 4.7 Čerpadla na ÚV Nudvojovice před rekonstrukcí [11] .....	30
Obr. 4.8 Strojovna úpravně vody Nudvojovice před rekonstrukcí [11] .....	31
Obr. 4.9 Budova UV Nudvojovice před rekonstrukcí [11] .....	31
Obr. 5.1 Vrt T-2 po rekonstrukci, foto vlastní.....	34
Obr. 5.2 Vrt L-5 po rekonstrukci, foto vlastní .....	34
Obr. 5.3 Schéma možných provozních scénářů úpravy vody .....	37
Obr. 5.4 UV lampa - typová řada Spektron [40] .....	38
Obr. 5.5 UV lampy, foto vlastní .....	38
Obr. 5.6 Chlorovna, foto vlastní .....	38
Obr. 5.8 Provozdušňovací věž po rekonstrukci, foto vlastní .....	39
Obr. 5.7 Provozdušňovací věž po rekonstrukci, foto vlastní .....	39
Obr. 5.9 Zásobník na oxid uhličitý, foto vlastní .....	40
Obr. 5.10 Schéma zásobníků na CO <sub>2</sub> [16] .....	40
Obr. 5.11 Čerpadla na ÚV Nudvojovice, foto vlastní.....	41
Obr. 5.12 Čerpadla na ÚV Nudvojovice, foto vlastní.....	41
Obr. 5.13 Budova ÚV Nudvojovice po rekonstrukci, foto vlastní.....	41
Obr. 5.14 Budova akumulace na ÚV po rekonstrukci, foto vlastní .....	41



## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AN – akumulární nádrž

BSK<sub>5</sub> – biochemická spotřeba kyslíku

Ca – vápník

Ca + Mg – tvrdost vody

DH – doporučená hodnota – nezávazná hodnota, která stanovuje minimální žádoucí nebo přijatelnou koncentraci dané látky

Fe – železo

CHSK - chemická spotřeba kyslíku

Mg – hořčík

MH – mezní hodnota – překročení nepředstavuje akutní zdravotní riziku

NMH - nejvyšší mezní hodnota – překročení hodnoty znamená, že voda nemůže být používána jako pitná [2]

PCE – tetrachloreten

SČVaK a.s. – Severočeské vodovody a kanalizace a.s.

TCE – trichloreten

TOC - celkový organický uhlík

ÚV – úprava vody

VHS – Vodohospodářské sdružení Turnov

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1 - Situace

## SUMMARY

The water treatment process is the most important process in supplying the population with drinking water. The quality of drinking water depends on many factors, the main ones being the quality of raw water and the chosen method of treatment.

There are two water treatment plants in Turnov - Dolánky and Nudvojovice. Dolánky pumping station and water treatment plant treat water from the wells at the treatment plant site. The Nudvojovice water treatment plant deals with the treatment of water from the wells near this facility. This bachelor's thesis focuses on the Nudvojovice water treatment plant which underwent a complete reconstruction in 2018. The reason for the reconstruction was the need to replace the outdated technological equipment and to improve the quality of drinking water, especially by increasing the efficiency of removal of chlorinated hydrocarbons from the collected water. Last but not least, existing wells were rehabilitated, and above all, the above-ground parts of the collecting wells were modified in order to achieve maximum protection against floods. Furthermore, the capacity of the water treatment plant was increased with regard to the yield of wells and by decommissioning of the two least suitable wells.

The aim of this thesis was to describe and evaluate the condition of the Nudvojovice water treatment plant before and after the reconstruction. The thesis focuses mainly on the description of individual conditions of collection facilities and the treatment plant and its technology itself. It also deals with the quality of raw and drinking water. Selected indicators on which the thesis focuses are: iron, calcium, magnesium, water hardness, pH and concentration of chlorinated hydrocarbons.

Compared to the state before the reconstruction, the values after the reconstruction are more favorable, especially regarding chlorinated hydrocarbons, which are after the reconstruction in some cases even below the values detectable by instruments. This reduction was one of the main goals of the whole reconstruction. The fact that two wells with the least suitable water quality were taken out of operation also contributed to better results. For other wells, remediation and complete replacement of technical and technological equipment was performed. At the same time, the wellheads were raised above the level of one-hundred-year flood, thus fulfilling another goal of the reconstruction – to ensure a safe supply of drinking water even in the event of floods. It was also necessary to increase the amount of treated water. The proposed and also achieved capacity was 50 L/s, which was verified during a test run. This goal was therefore also met, mainly due to the remediation of wells and the overall replacement of pipe and technological equipment on the route from the wells and at the water treatment plant.

During the test operation, it was found that excessive amounts of calcium began to be released in the water supply network and caused complications for consumers. For this reason, the test operation was extended, and additional carbon dioxide dosing was installed, which ensured a significant improvement of the situation. In the future, when using high-quality water supply materials, the installation of new UV lamps will ensure the hygienic safety of water without the need for chemical water treatment.

Overall, it can be assessed that the reconstruction of the Nudvojovice water treatment plant met all its objectives and can be considered successful. Thanks to the reconstruction, the quality of the water has increased. The capacity of the treatment plant is also larger, so it is possible to further expand the development in both appliances. And last but not least, all facilities are protected from one-hundred-year floods. The Ohrázenice and Károvsko locations have a sufficient and high-quality source of drinking water for future years.